



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

***SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DA CONCENTRAÇÃO DE  
MICROALGAS E TEMPERATURA NA MATURAÇÃO DE OSTRAS EM TANQUE DE  
CULTIVO.***

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Nestor Roqueiro, D. Sc.

***MARCO ANTONIO VIEIRA SALES***

Florianópolis (SC), Abril de 2004.

***SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DA CONCENTRAÇÃO DE MICROALGAS E TEMPERATURA NA MATURAÇÃO DE OSTRAS EM TANQUE DE CULTIVO.***

Por,

**MARCO ANTONIO VIEIRA SALES**

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Química**, área de concentração **Desenvolvimento de Processos Químicos e Biotecnológicos**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

---

Prof. Nestor Roqueiro, D. Sc.  
Orientador

---

Prof. Agenor Furigo Junior, D. Sc.  
Coordenador do CPGENQ

**Banca examinadora**

---

Prof. Nestor Roqueiro, D. Sc. (DAS – UFSC)  
Presidente

---

Prof. Jaime Fernando Ferreira, D. Sc. (AQI-UFSC)

---

Prof. Ricardo Machado, D. Sc. (EQA – UFSC)

Florianópolis (SC), Abril de 2004.

# ***SUMÁRIO***

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xv</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>2</b>
2.1 Software de Controle .....	2
2.2 Desenvolvimento de sistemas de controle .....	6
2.2.1 <i>Especificação e representação da lógica de controle</i> .....	7
2.2.2 <i>Flexibilidade da representação</i> .....	8
2.2.3 <i>Tolerância a falhas</i> .....	8
2.3 Arquitetura do sistema de controle .....	9
2.4 Sistemas de automação e controle para aquicultura .....	11
2.4.1 <i>Introdução</i> .....	11
2.4.2 <i>Automação e controle para aquicultura</i> .....	13
<b>3 – MODELAGEM DO SSC – UML .....</b>	<b>17</b>
3.1 Introdução .....	17
3.2 Diagrama de casos de uso .....	18
3.3 Diagrama de classes .....	19
3.4 Diagrama de estados .....	20
3.5 Diagramas de sequência .....	21
3.5.1 <i>Diagrama de sequência monitora gráficos</i> .....	21
3.5.2 <i>Diagrama de sequência monitora display's</i> .....	22
3.5.3 <i>Diagrama de sequência modifica intervalo diferencial</i> .....	23
3.5.4 <i>Diagrama de sequência calibra malha fechada</i> .....	24
3.5.5 <i>Diagramas de componentes</i> .....	25
3.5.6 <i>Diagrama de dispositivos</i> .....	26
<b>4 – MODELO MATEMÁTICO DO PROCESSO .....</b>	<b>27</b>
<b>5 – PROJETO DOS SENSORES DE CONCENTRAÇÃO E TEMPERATURA .....</b>	<b>29</b>
5.1 Introdução .....	29
5.2 Princípio de funcionamento .....	30
5.3 Circuito eletrônico .....	34
<b>6 – SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE .....</b>	<b>38</b>

6.1 Introdução .....	38
6.2 Diagrama do Processo.....	44
6.3 Diagrama do Simulink/Matlab.....	45
6.4 Diagrama elétrico.....	48
<b>7 – MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>50</b>
7.1 Sala de controle – LCMM.....	50
7.2 Tanque de cultivo automatizado .....	51
<b>8 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>53</b>
8.1 O modelo matemático .....	53
8.2 O Sistema de Supervisão e Controle.....	60
<b>9 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>67</b>
9.1. Conclusões .....	67
9.2. Recomendações.....	68
<b>10 – APÊNDICES .....</b>	<b>70</b>
10.1 Material elétrico .....	70
10.2 Material eletrônico .....	70
10.3 Material hidráulico.....	71
10.4 Material químico.....	72
10.5 Material de informática.....	72
10.6 Procedimento para calibração da malha de concentração de microalgas .....	72
10.7 Procedimento para calibração da malha de temperatura.....	73
10.8 Modelagem matemática do processo .....	74
<b>11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>

*“Olho e me esqueço,  
vejo e me lembro,  
faço e aprendo”.*

*Confúcio*

*Com carinho e muita gratidão à família que amo, meus pais João Sales e M<sup>a</sup> Lúcia Vieira Sales, minha irmã Dr<sup>a</sup> Silvana, meus irmãos Bento, João, Rogério e Pedro, minha filha Natalie e minha amada Monica.*

## ***AGRADECIMENTOS***

Agradeço:

A Deus, pela oportunidade de viver e ser feliz.

Em especial ao meu orientador, Prof. Nestor Roqueiro, por todo seu incentivo, orientação e dedicação, e por acreditar em mim e no nosso trabalho. E também pela amizade e toda a oportunidade de crescimento profissional e pessoal que me proporcionou através de seus ensinamentos.

Ao Prof. Ricardo Machado, por ter acreditado e incentivado a realização deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Química, em especial a coordenadoria de pós-graduação por todo o apoio e oportunidades em relação ao curso.

A minha turma de mestrado, onde se encontram amigos, por me receberem com tanto carinho e pelo apoio nos momentos difíceis.

Ao pessoal do LCP. Vocês Letícia, Caio, L. H. Carlson, Reinaldo, Rafael, Audrei, Cristina, Ana Paula, Marco Aurélio, Fernanda, Eliana e Henry foram importantes nesta caminhada.

Ao Rodrigo Carlson pelo apoio técnico com a placa Monica.

A equipe do LCMM: Adriana, Luiz, Alexandre, Chico e Moira pelo auxílio dado na implantação do sistema.

Ao servidor Edvilson, pela simpatia e auxílio frente à coordenadoria de pós-graduação em Engenharia Química.

As amigas Juliana Cristina e Kátia Epalanga pela convivência e pelos dias de estudo.

Aos colegas do LABMAC, LCP e LCMM, pela convivência e utilização dos equipamentos.

Ao Sr Cláudio, Prof. Jaime e Prof<sup>a</sup> Marisa que permitiram e colaboraram com a pesquisa realizada no LCMM.

A CAPES, instituição oficial que outorgou a bolsa que permitiu o desenvolvimento deste trabalho.

A todas as pessoas que de alguma forma tenham acompanhado e contribuído para a realização deste trabalho.



# ***SUMÁRIO***

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xv</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>2</b>
2.1 Software de Controle .....	2
2.2 Desenvolvimento de sistemas de controle .....	6
2.2.1 Especificação e representação da lógica de controle .....	7
2.2.2 Flexibilidade da representação .....	8
2.2.3 Tolerância a falhas .....	8
2.3 Arquitetura do sistema de controle .....	9
2.4 Sistemas de automação e controle para aquicultura .....	11
2.4.1 Introdução.....	11
2.4.2 Automação e controle para aquicultura .....	13
<b>3 – MODELAGEM DO SSC – UML .....</b>	<b>17</b>
3.1 Introdução .....	17
3.2 Diagrama de casos de uso .....	18
3.3 Diagrama de classes .....	19
3.4 Diagrama de estados .....	20
3.5 Diagramas de seqüência.....	21
3.5.1 Diagrama de seqüência monitora gráficos.....	21
3.5.2 Diagrama de seqüência monitora display's .....	22
3.5.3 Diagrama de seqüência modifica intervalo diferencial.....	23
3.5.4 Diagrama de seqüência calibra malha fechada .....	24
3.5.5 Diagramas de componentes.....	25
3.5.6 Diagrama de dispositivos .....	26
<b>4 – MODELO MATEMÁTICO DO PROCESSO .....</b>	<b>27</b>
<b>5 – PROJETO DOS SENSORES DE CONCENTRAÇÃO E TEMPERATURA .....</b>	<b>29</b>
5.1 Introdução .....	29
5.2 Princípio de funcionamento .....	30
5.3 Circuito eletrônico .....	34
<b>6 – SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE.....</b>	<b>38</b>
6.1 Introdução .....	38
6.2 Diagrama do Processo.....	44
6.3 Diagrama do Simulink/Matlab.....	45

6.4 Diagrama elétrico .....	48
<b>7 – MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>50</b>
7.1 Sala de controle – LCMM.....	50
7.2 Tanque de cultivo automatizado .....	51
<b>8 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>53</b>
8.1 O modelo matemático .....	53
8.2 O Sistema de Supervisão e Controle.....	60
<b>9 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>67</b>
9.1. Conclusões .....	67
9.2. Recomendações.....	68
<b>10 – APÊNDICES .....</b>	<b>70</b>
10.1 Material elétrico .....	70
10.2 Material eletrônico .....	70
10.3 Material hidráulico.....	71
10.4 Material químico .....	72
10.5 Material de informática.....	72
10.6 Procedimento para calibração da malha de concentração de microalgas .....	72
10.7 Procedimento para calibração da malha de temperatura.....	73
10.8 Modelagem matemática do processo .....	74
<b>11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>

## ***LISTA DE FIGURAS***

Figura 3.1: Diagrama de casos de uso .....	18
Figura 3.2: Diagrama de classes .....	19
Figura 3.4: Diagrama de seqüência monitora gráficos .....	21
Figura 3.5: Diagrama de seqüência monitora display's.....	22
Figura 3.6: Diagrama de seqüência modifica intervalo diferencial .....	23
Figura 3.7: Diagrama de seqüência calibra malha fechada.....	24
Figura 3.8: Diagrama de componentes .....	25
Figura 3.9: Diagrama de dispositivos .....	26
Figura 4.1: Entradas e saída do processo .....	27
Figura 5.1: Espectro infravermelho, luz visível e ultravioleta.....	30
Figura 5.2: Princípio de funcionamento do sensor de concentração .....	31
Figura 5.3: Sensor de concentração .....	32
Figura 5.4: Sensor de temperatura .....	33
Figura 5.5: Circuito eletrônico da fonte 24 Vcc .....	34
Figura 5.6: Circuito eletrônico de aquisição .....	35
Figura 5.7: Layout para impressão dos circuitos eletrônicos.....	36
Figura 5.8: Placa de aquisição e fonte 24 Vcc .....	37
Figura 6.1: Sistema automático.....	39
Figura 6.2: Modelo detalhado de um sistema automático .....	40
Figura 6.3: Diagrama de blocos SA e SM .....	41
Figura 6.4: Elementos de um sistema de medição e atuação.....	42
Figura 6.5: Diagrama de instrumentação do processo.....	44
Figura 6.6: Toolkit Monica .....	45
Figura 6.7: Diagrama de controle de temperatura SIMULINK/MATLAB.....	46
Figura 6.8: Diagrama de controle da concentração de microalgas SIMULINK/MATLab .....	47
Figura 7.1: PC, placa AQS1, placa Monica e estabilizador.....	50
Figura 7.3: Counter coulter .....	52
Figura 8.1: Simulação com as equações diferenciais.....	57
Figura 8.2: Diagrama de simulação das funções de transferência.....	58
Figura 8.3 Simulação com as funções de transferência .....	59
Figura 8.4: Simulação com as equações diferenciais e as FT's.....	60
Figura 8.6: Curvas de consumo de microalgas 1 .....	62
Figura 8.7: Curvas de consumo de microalgas 2 .....	66
Figura 9.1: Modelo de sistema de amostragem .....	69

## ***LISTA DE TABELAS***

<b><i>Nº Tabela</i></b>	<b><i>Descrição</i></b>	<b><i>Página</i></b>
Tabela 4.1	Legenda das entradas e saída do processo	28
Tabela 5.1	Legenda do circuito eletrônico de aquisição	35
Tabela 6.1	Legenda do diagrama de instrumentação do processo	44
Tabela 6.2	Legenda do diagrama de ligação elétrica	59
Tabela 8.1	Perturbações do modelo matemático	54
Tabela 8.2	Curva de consumo de microalgas e temperatura	62
Tabela 10.1	Material elétrico	70
Tabela 10.2	Material eletrônico	71
Tabela 10.3	Material hidráulico	71
Tabela 10.4	Material químico	72
Tabela 10.5	Material de informática	72

## ***LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS***

$\alpha$	ângulo ( $^{\circ}$ )
$\mu$	micro: $10^{-6}$
n	nano: $10^{-9}$
K	kilo: $10^3$
M	mega: $10^6$
$\Omega$	Resistência elétrica (ohms)
$\theta$	Tempo morto do processo
k	Ganho do processo
$\pi$	Constante: 3.14159
$\rho$	Coefficiente de resistividade
$\lambda$	Comprimento de onda
$\tau$	Constante de tempo do processo
A	Ampère (corrente elétrica)
AOO	Análise Orientada a Objetos
Atm	Pressão atmosférica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
D/A	Digital/Analógico
DSS	Sistema de suporte à decisão
ER	Entidade relacionamento
F	Unidade de capacitância elétrica: Farad
FT	Função de Transferência
LABMAC	Laboratório de Materiais e Corrosão
LCP	Laboratório de Controle de Processos
LCMM	Laboratório de Cultivo de Moluscos Marinhos
LED	Diodo Emissor de Luz

LPT1	Line Printer 1
NTC	Coefficiente negativo de temperatura
OO	Orientação a Objetos
PC	Computador Pessoal
PDS	Chave de pressão diferencial
pH	Potencial hidrogeniônico
SA	Subsistema de Atuação
SM	Subsistema de Medição
SP	<i>Set Point.</i>
SSC	Sistema de Supervisão e Controle
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
VP	Variável do Processo

## ***RESUMO***

Os laboratórios destinados à produção, em larga escala, de sementes ou juvenis de moluscos cultivados necessitam de qualidade de água, controle de temperatura e quantidade de alimento. Devido à crescente importância da maricultura no estado de Santa Catarina, em especial o cultivo de moluscos como o mexilhão *Perna perna*, a ostra japonesa (*Crassostrea gigas*) e a vieira (*Nodipecten nodosus*), os laboratórios freqüentemente necessitam produzir sementes ou juvenis para suprir os parques de cultivo local. Os equipamentos existentes no mercado para medição da concentração de microalgas destinadas a alimentação de organismos aquáticos têm custo elevado. Na maioria dos casos não fazem a leitura das variáveis do processo de forma contínua e sim através de amostragem. O presente projeto busca a análise e implementação de um sistema para o controle contínuo do processo de fornecimento de microalgas e controle da temperatura em tanque de maturação de ostras, a baixo custo e em escala laboratorial. Denominado de ***Sistema de Supervisão e Controle da Concentração de Microalgas e Temperatura na Maturação de Ostras em Tanque de Cultivo***, tem por finalidade automatizar o processo de alimentação e controle da temperatura através de um software de supervisão e controle.

## ***ABSTRACT***

The destined laboratories the production, in wide scale, of seeds or juvenile of cultivated mollusks they need quality of water, control of temperature and quantity of food.

Due to growing importance of the mariculture in the state of Santa Catarina, especially the cultivation of mollusks as the mussel *Leg leg*, the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*) and the scallops (*Nodipecten nodosus*), the laboratories frequently need to produce artificially seeds or juvenile for supply the parks of local cultivation. The existent equipments in the market for measurement of the concentration of microalgas destined the feeding of organisms aquatic so very expensive. In the most cases don't reading the process variable in continue form. The present project seeks the analysis and implementation of a system for the continuous control of the process of food supply and control of temperature in maturation tank oyster, at a low cost and in scale laboratorial. Denominated of **System of Supervision and Control of Concentration of Microalgas and Temperature in Maturation Tank Oyster**, he has for purpose to automate the process of feeding of aquatic organisms and control of temperature through a system supervision and control software.



# ***1 – INTRODUÇÃO***

O cultivo de moluscos, como o mexilhão, a ostra japonesa, a vieira e larvas herbívoras de camarão necessitam que os laboratórios produzam sementes ou juvenis para suprir os parques de cultivo local. Alguns aspectos são fundamentais para a qualidade desta produção: qualidade da água, controle de alimento e temperatura. O processo de alimentação e controle de temperatura das ostras na fase de maturação do LCMM (Laboratório de Cultivo de Moluscos Marinhos) pode ser aprimorado através da implementação de um sistema automático composto por um software de controle e duas malhas de controle fechadas: uma para temperatura e outra para concentração de alimento.

A implementação de um sistema automático para a alimentação de organismos aquáticos em escala laboratorial requer o desenvolvimento de um elemento de medição contínuo (sensor de concentração de microalgas), pois, os dispositivos existentes no mercado (fluorímetros, espectrofotômetros e contadores de partículas) têm custo elevado e na maioria dos casos fazem esta medição através de amostras previamente coletadas, o que torna inviável o controle em malha fechada. Devido a este fato é de extrema importância a realização de pesquisa e desenvolvimento de técnicas e métodos que viabilizem aplicações de controle voltadas a maricultura.

O Projeto de um SSC (Sistema de Supervisão e Controle) visa obter parâmetros de estados estacionário e transitório, requeridos para a análise do sistema controlado e supervisionado automaticamente e usar estes mesmos parâmetros para monitorar, controlar e ajustar o sistema obtendo assim melhores resultados do processo.

## ***2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA***

### ***2.1 Software de Controle***

A evolução do *software* de controle tem estado fortemente relacionada com os avanços tecnológicos nas áreas de manufatura, engenharia e ciências da computação. A integração dos dispositivos de manufatura tem sido realizada através da automação dos processos, a partir da utilização de unidades de controle numérico e do desenvolvimento de interfaces de *software* que facilitem esta integração. A tarefa de integração dos vários dispositivos de um sistema de manufatura apresenta requisitos como: suporte de *hardware* (conexão física dos componentes) e suporte de *software* (conexão lógica dos componentes). Além disto, é necessário um software adicional para coordenar as operações dos diversos dispositivos e para implementar as estratégias de controle destes sistemas integrados. Este *software*, usualmente, recebe o nome de *software de controle* (NAYLOR &VOLZ, 1987).

O desenvolvimento de *software* de controle para sistemas de manufatura é considerado uma tarefa difícil, principalmente devido à complexidade que estes sistemas apresentam tanto em nível de concepção como em nível de implementação. Além disto, o desenvolvimento do *software* de controle representa um custo alto no que diz respeito ao desenvolvimento de sistemas de controle e supervisão (DUAN, 1993).

De acordo com YOURDON (1988), a utilização de esquemas de representação convenientes e ambientes de desenvolvimento que possibilitem a criação de sistemas de controle flexíveis e de fácil utilização são importantes na busca da redução dos custos de desenvolvimento e da complexidade de implementação desses sistemas. Define-se a metodologia de desenvolvimento de *software* como uma especificação formal de um sistema

para construir sistemas. Ela define as partes componentes de um sistema para a construção de sistemas de informação computadorizados, ou seja, as fases ou atividades que existem em um projeto de desenvolvimento de *software* típico.

De acordo com JASANY (1992) um sistema de controle é composto de *hardware* e *software*. O *hardware* pode estar na forma de robôs, máquinas ferramentas, dispositivos de manuseio de material, controladores lógico programáveis (CLP's) e computadores. O *software* inclui programas de controle em tempo real, programas para escalonamento, programas de controle numérico e programas para robôs. Estes dois componentes, *hardware* e *software*, são importantes na busca de uma nova geração de controladores e na melhoria do desempenho dos processos controlados.

Conforme LARIN (1989), CLP's têm sido usados como elemento controlador de processos na maioria das aplicações automatizadas. Entretanto, devido a grande quantidade e diversidade de informações necessárias nos sistemas de controle modernos e a complexidade e limitação da forma de programação dos CLP's, surgiu a necessidade de busca por novas alternativas de controle. A utilização de computadores de propósito geral para controlar processos tem crescido à medida que o preço dos computadores tem decrescido. Cada vez mais o controle de processos está utilizando estações de controle computadorizadas. Entre as soluções utilizadas encontram-se computadores pessoais (PC), computadores (VAX), superminis e computadores especiais (Vista 2000). JASANY (1992) acredita que a disponibilidade de uma nova geração de controladores poderia ter uma melhoria significativa neste tipo de controle. Esta nova geração de controladores deveria apresentar características de: interconectividade e funcionalidade dos computadores de propósito geral. O componente *software* tem uma participação muito importante na efetivação dessa melhoria.

O desenvolvimento de sistemas de controle representa hoje um dos maiores problemas na criação de indústrias de manufatura automatizadas ou semi-automatizadas. Uma boa parcela desta dificuldade pode ser atribuída aos altos custos envolvidos no desenvolvimento e manutenção do *software* de controle e a dificuldade de se conseguir definir a forma de integração destes sistemas (SMITH, 1992). Os dispositivos de produção, como robôs, máquinas ferramentas e outros equipamentos de produção, assim como os computadores e redes de comunicação, geralmente são encontrados com facilidade. Entretanto, o *software* de controle

necessário para implementação de um sistema de controle flexível e integrado destes equipamentos não está prontamente disponível. Estes sistemas normalmente são multidisciplinares envolvendo conhecimento não só em manufatura, mas também em programação de computadores e análise e especificação de sistemas. Por exemplo, estima-se que o tempo de desenvolvimento de *software* no caso de sistemas de controle gira de 40% a 60% do seu tempo total (AYRES, 1989).

O *software* de controle, considerado como o *Kernel* das estações de controle (controladores), tem sido desenvolvido de forma altamente específica e necessita mudar sua forma de desenvolvimento para atender as rápidas mudanças que ocorrem em termos de requisitos e ambiente desses sistemas. Atualmente existem três opções para obtenção do *software* de controle: comprar do fornecedor do sistema de controle, utilizar consultores ou desenvolver o seu próprio *software* de controle. A compra de pacotes prontos implica normalmente na necessidade de adaptação dos mesmos à aplicação desejada, sendo que esta adaptação é dificultada pela ausência de padrões de interface e funções nos pacotes. A utilização de consultores requer a qualificação destes, a preparação de um contrato e a monitoração do projeto. A alternativa de desenvolver o *software* na própria empresa esbarra na falta de especialistas em engenharia de *software* capazes de tratar um projeto complexo. Tanto na compra de pacotes quanto na utilização de consultores representam custos altos, sendo que somente as grandes empresas tem condições de investir. Neste caso, a definição de uma estrutura que auxilie no desenvolvimento do *software* para sistemas de controle pode representar uma boa possibilidade para as pequenas e médias empresas, as quais passariam a desenvolver sistemas proprietários de controle (LIN, 1994).

Grande parte dos problemas encontrados no desenvolvimento de *software* para sistemas de controle decorre da falta de um modelo (arquitetura) adequado para tratar as necessidades envolvidas na geração de *software* de controle genérico. Por exemplo, os esquemas de controle são predominantemente proprietários e inflexíveis, arquiteturas são baseadas principalmente em monoprocessadores dedicados causando grandes problemas de integração e re-projeto quando da necessidade de adicionar novos elementos. Diante desse quadro, arquiteturas de controle têm sido desenvolvidas na busca de estabelecer uma estrutura padrão para sistemas de manufatura controlados por computador e reduzir os custos de desenvolvimento de *software* (MEYER, 1986).

Os modelos citados incluem uma abordagem hierárquica, seqüencial e centralizada para o processo de desenvolvimento do sistema. Considerando a natureza hierárquica dos grandes sistemas, o modelo convencional de construção do controle envolve o uso de uma abordagem *topdown* centralizada onde, primeiro se define a estrutura global do sistema e, em seguida, os componentes são refinados. Embora esta abordagem forneça uma ferramenta de representação útil para muitos sistemas, ela apresenta alguns problemas no tratamento das características dinâmicas de um sistema. Primeiro, o modelo centralizado não é o mais adequado para representar atividades paralelas e simultâneas dos sistemas de controle devido às restrições que o modelo impõe no que diz respeito à autonomia das entidades controladas. Segundo, visto que a centralização de controle exige a participação da entidade controladora em cada decisão, o sistema torna-se menos flexível. Terceiro, a centralização do controle faz com que o sistema de controle seja mais dependente de aplicação e ajustado para configurações específicas, não fornecendo meios para uma rápida configuração do sistema. Na necessidade de mudanças envolvendo as máquinas ou os requisitos de produção, o modelo de controle perde a sua validade e conseqüentemente o *software* tem que ser reconstruído. Esta limitação implica em custos adicionais na modelagem do sistema assim como no desenvolvimento do *software* (DUAN, 1993).

Existem boas chances de que a utilização de uma abordagem *bottom-up* distribuída possa significar um avanço na tentativa de estabelecer um modelo de controle genérico e reconfigurável. A diferença fundamental entre os modelos centralizado e distribuído é que o primeiro enfatiza a responsabilidade do controlador (central) na inicialização e controle de todas as tarefas dos elementos controlados enquanto que o segundo se preocupa mais com a coordenação e cooperação entre os elementos controlados. No modelo distribuído, a representação de um sistema pode ser feita através de dois tipos de entidades: componentes e conexões. Os componentes caracterizam os elementos básicos a partir dos quais o sistema é composto e apresentam a característica de serem independentes da aplicação. Quando se estabelece as conexões de um sistema é necessária a definição dos componentes e depois a definição dos relacionamentos entre os componentes (abordagem *bottom-up*). Segundo DUAN (1993), esta abordagem apresenta algumas vantagens:

- Considerando que cada componente funciona de forma autônoma, atividades paralelas e simultâneas podem ser descritas no modelo;

- Um sistema pode ser modelado de forma modular considerando que os componentes são definidos de forma independente da estrutura global do sistema. Assim, um subsistema pode ser construído a partir do agrupamento de um conjunto de componentes em uma entidade;
- Considerando que a estrutura global de um sistema depende apenas da especificação das conexões, a reconfiguração pode ser feita a partir da redefinição das conexões.

A adoção de uma estrutura distribuída para sistemas de controle permite a descrição das atividades de controle de forma genérica, fornecendo a necessária abstração para os diferentes níveis. Entretanto, mesmo com a utilização de um modelo distribuído na especificação do sistema, a implementação do software pode assumir uma forma diferente daquela do modelo desenvolvido. Isto é frequentemente devido à utilização de ambientes que não suportam a implementação de *software* distribuído (concorrente) (DUAN, 1993).

## ***2.2 Desenvolvimento de sistemas de controle***

Um sistema de controle é visto como uma coleção de entidades que se comunicam entre si para requisitar serviços com o objetivo de executar uma tarefa do sistema (ROGERS, 1991). Esta correspondência natural entre o modelo de objetos e sistemas de manufatura fez com que a orientação a objetos se adapte bem com a modelagem de sistemas de controle. Várias características da Orientação a Objetos (OO) são apontadas como vantajosas no tratamento de sistemas de controle (ADIGA & GLASSEY, 1989).

Um problema que surge quando se quer representar o mundo real em um computador, são as transformações que as informações do mundo real devem sofrer até serem compreendidas como uma representação computacional (abordagem funcional). A idéia de que pessoas possam construir uma representação computacional do mundo real, sem se preocupar com estas transformações, permite que as entidades que compõe os sistemas de controle sejam

representadas diretamente como elas são vistas pelas pessoas ligadas ao sistema ou ligadas as situações de trabalho (MACFADDEN, 1989).

Estudos sobre problemas de implementação de sistema de controle recomendam uma abordagem incremental para sua implementação. Duas características do paradigma, modularidade de objetos e conceito de herança, tornam essa abordagem incremental possível. Os sistemas de controle são caracterizados pela complexidade e necessidade de detalhes. Experiências em engenharia de *software* sugerem que uma maneira apropriada de tratar com muitos detalhes é através de sucessivas fases de refinamento. Abordagens OO permitem este estilo de desenvolvimento de forma natural. As classes na OO podem ser usadas para generalizar ou especializar. A utilização de uma abordagem OO na representação de entidades que compõe os sistemas de controle pode representar uma redução no custo do desenvolvimento de *software* para gerenciamento e controle de sistemas em função de características como modularidade e reusabilidade (ibidem).

Herança, abstração de dados e reusabilidade, são características da OO que aparecem como vantajosas na representação do conhecimento estrutural dos componentes dos sistemas de controle. Além destas características, outras considerações, relativas ao modelo de objetos, são apontadas a seguir no que diz respeito a *software* de controle.

### ***2.2.1 Especificação e representação da lógica de controle***

Na abordagem OO, as ações de controle são modeladas como seqüências específicas de mensagens para outros objetos. Este tipo de representação torna o sistema flexível, visto que a implementação das respostas é resolvida pelo objeto receptor. Entretanto, enquanto a especificação do sistema se torna mais fácil com OO, a especificação de controle é afetada pela tendência que o analista tem de tratar controle de forma procedural (NOF, 1994). Assim sendo,

uma forma de representação, intuitiva e de fácil compreensão, que parte da dinâmica do fluxo de mensagens deve ser oferecida.

### ***2.2.2 Flexibilidade da representação***

Uma vez que o software é projetado a partir da utilização do modelo OO, este representa quase que exatamente o sistema do mundo real, ele possui propriedades como: facilidade de compreensão e facilidade de modificação. As modificações necessárias em um dos objetos requerem quase nenhuma modificação nas outras partes do *software*. Desta forma, comparado com a abordagem convencional de tabela de estados, não existe uma lógica de controle fixa e central. Os objetos possuem seus próprios estados e a mudança de estados ocorre conforme os eventos que são capturados pelos objetos (NOF, 1994).

### ***2.2.3 Tolerância a falhas***

Uma característica importante no projeto de sistema de controle diz respeito à tolerância a falhas. Por exemplo, num sistema de controle tipicamente hierárquico, uma entidade em um determinado nível necessita de conhecimento suficiente das entidades do nível acima, assim como das entidades do nível abaixo, para tratar de falhas. Isto aumenta a dificuldade e o custo do projeto no que diz respeito a manutenção e modificação dos sistemas hierárquicos (DUFFIE, 1991). Na abordagem OO, os objetos são projetados de forma a terem o mínimo de conhecimento sobre o comportamento dos outros objetos. A OO utiliza menos dados globais e mais controle local, de forma que os objetos possam armazenar seus próprios dados e acessar dados remotos conforme suas necessidades. A partir da utilização destas características é possível projetar sistemas onde a falha de um objeto não resultará na parada de outros.



## ***2.3 Arquitetura do sistema de controle***

A partir da utilização da OO é possível tratar os vários níveis de controle, máquinas, centro de trabalho e célula de trabalho como entidades independentes que não tem qualquer conhecimento sobre o comportamento uns dos outros e que se comunicam através mensagens. Esta ligação fracamente acoplada, entre as entidades de controle, permite que estas entidades possam ser alteradas ou substituídas de forma individual sem afetar o funcionamento geral do sistema. Isto pode permitir uma flexibilidade em relação a definição da estrutura de controle hierárquica a ser utilizada (ICOOMS, 1992).

A aplicação de técnicas OO em sistemas de controle tem crescido rapidamente e várias áreas de manufatura têm aproveitado as vantagens que a OO representa em termos de modelagem e desenvolvimento de *software* (ibidem). Alguns trabalhos, particularmente com respeito a sistemas de controle são citados a seguir:

FABIAN (1992) apresenta uma abordagem OO para controle de uma célula de trabalho. O controle da célula é caracterizado como sendo um sistema distribuído composto por objetos físicos que são autocontidos e trabalham de forma concorrente a partir de troca de mensagens. Cada objeto externo é modelado por um objeto interno que contém um conjunto de mensagens comum a todos os dispositivos do sistema de controle.

Uma metodologia de modelagem para sistemas de controle baseada em objetos é apresentada por (KIM, 1993). A metodologia consiste de uma fase de análise e uma fase de projeto. Na fase de análise, as funções de controle são decompostas, descritas com diagramas funcionais, e transformadas em tabelas: função, dados e operações. Na fase de projeto, as

tabelas são traduzidas em um modelo de informação OO. O modelo de informações é composto pelas classes dicionário (descreve as funções e dados) e relacionamento (descreve a semântica das operações).

O desenvolvimento de *software* para sistemas de controle é discutido em (SMITH, 1992). É apresentado o desenvolvimento de uma classe de objetos, “equipamentos”, e que se encaixa em uma arquitetura hierárquica de controle em três níveis. Os objetos de *software* têm uma correspondência um para um com os objetos físicos, e apresentam uma parte genérica e uma parte específica.

Em LIN (1994), é apresentado o desenvolvimento de um sistema de controle de uma célula flexível OO. Os objetos e suas relações são modelados utilizando diagramas ER (Entidade-relacionamento), a interação entre os objetos é modelada utilizando diagramas de fluxo de mensagens (*message flow diagrams*), e o comportamento dos objetos é modelado com diagramas de transição de estados. Implementado em Turbo C, o *software* aceita modificações na configuração da célula, sem reprogramação.

GLASSEY (1989) propõe uma biblioteca de objetos de *software* para controle e simulação de sistemas de controle. O objetivo principal do projeto é o desenvolvimento de um conjunto de modelos de simulação para simplificar a tarefa de montagem de modelos de simulação apropriados para pesquisas específicas. Neste caso, o paradigma OO foi escolhido com o objetivo de prover características como: reusabilidade, extensibilidade e facilidade de manutenção.

NAYLOR (1987) apresenta os componentes *software/hardware* como parte integrante de um modelo formal para sistemas de controle. Estes componentes são o encapsulamento de um dispositivo físico (máquina, robô, etc.) e o *software* necessário para o controle de baixo nível deste dispositivo. Os componentes apresentam uma interface pública bem definida e uma

implementação interna que é acessível pelo usuário; a parte visível e a implementação dos componentes deveriam ser compiladas separadas dos componentes que a usam.

Apesar da grande adaptabilidade do modelo OO no tratamento de sistemas de controle, alguns problemas são considerados ainda não resolvidos. Embora o modelo OO permita modelar sistemas de controle como sendo objetos de *software* comunicando-se (solução distribuída), a implementação de um programa OO não é uma solução distribuída visto que existe um fluxo de controle único através do programa. A OO quebra o sistema em componentes semi-independentes, mas eles não são executados em paralelo. O autor apresenta problemas como: a modelagem de um sistema que envolve módulos de tomada de decisão que funcionam em paralelo em um único processador, a distribuição desses módulos numa implementação real, o tratamento de bases de dados distribuídos que representam o estado do sistema e a possibilidade de tratar requisitos de comunicação de um sistema real de controle seria modelar os objetos, que representam os componentes do sistema de controle, como processos que podem ser executados em processadores independentes conectados de alguma forma (ROGERS, 1991).

## ***2.4 Sistemas de automação e controle para aquicultura***

### ***2.4.1 Introdução***

Este capítulo apresenta uma compilação das ferramentas computacionais que têm sido desenvolvidas para a aquicultura em aplicações de pesquisa, educação, desenvolvimento e produção.

Com a rápida expansão da produção da aquicultura e a tecnologia computacional nas últimas décadas, o desenvolvimento e uso de ferramentas computacionais têm mostrado avanços consideráveis. Estas aplicações demonstram produtos para uma larga variedade de propósitos, incluindo análise financeira, planejamento e estimativa de projetos, gerenciamento,

produção, alimentação de peixes, suporte a decisões, diagnósticos e tratamento, regulação de meio ambiente, sistemas de informação e sistemas automáticos de supervisão e controle.

O crescimento global da indústria e a competitividade têm sido baseada em aplicações de controle de processos nos sistemas de produção. A agricultura e manufatura nos Estados Unidos tornou-se líder em alguns setores devido a intensificação da mecanização e automação (LEE, 1994). Diversas áreas da tecnologia de controle de processo são importantes para aquicultura e apontam avanços significantes para o futuro. Estas áreas incluem: desenvolvimento de sensores, inteligência artificial e visão de máquina. A remota localização dos dispositivos de controle requer, certamente o desenvolvimento de protocolos de comunicação já que um importante objetivo das instalações de controle moderno é a compatibilidade entre os dispositivos.

Avanços no projeto de sensores têm sido responsáveis pela expansão do uso de equipamentos de monitoração e sistemas automáticos na aquicultura. O uso de materiais mais duráveis e a inclusão de circuitos eletrônicos minimizam a sua construção. Alguns tipos de sensores são utilizados na monitoração de ambiente, entre eles, os cristais piezoelétricos biosensores são sensíveis a elementos químicos específicos que incorporam uma oscilação ao cristal proporcional à concentração absorvida. Ainda há os medidores clássicos de corrente e condutividade (pH). Fibras óticas, lasers e múltiplos filmes reagentes podem ser utilizados em aquicultura e o custo pode ser reduzido.

Os mais significantes avanços na tecnologia de controle vêm acompanhados de modelos em software. Um software traz a facilidade de implementar desde sistemas *on-off* até controle baseado em inteligência artificial. As técnicas mais utilizadas são: (1) sistemas especialistas e (2) redes neurais. A Lógica de *Fuzzy* tem grande possibilidade de ser aplicada em sistemas voltados a aquicultura, porém há pouco estudo sobre aplicações deste tipo. Tendências apontam que as aplicações desenvolvidas com inteligência artificial para aquicultura incluem:

- (1) hibridização das regras de base dos sistemas especialistas combinadas com redes neurais ou técnicas da lógica de *Fuzzy* combinadas com redes neurais;
- (2) maior velocidade dos novos componentes de hardware;
- (3) maior rapidez no treinamento das redes neurais;

- (4) interfaces com o usuário mais amigáveis.

A seguir são apresentadas algumas aplicações.

### ***2.4.2 Automação e controle para aquicultura***

Utilizando um elemento sensor de pressão padrão usado em máquinas de lavar roupa pode-se elaborar um sistema de aeração em cultivos de peixe. Geralmente encontra-se em cultivos de peixe pressão de ar de 0-15 atm, comercialmente os sistemas disponíveis para monitoração dos parâmetros da água em tanques de peixe são caros e não estão disponíveis em pequena escala e geralmente são encontrados em fazendas de peixe e laboratórios experimentais. Alguns dispositivos como as chaves de pressão diferencial ajustáveis (PDS) podem ser usadas para controlar a pressão de ar em sistemas de aeração, porém são relativamente caras. Para correntes que não excedam a 1 A (ampère), um sensor de baixo custo de máquina de lavar roupa pode ser instalado. O uso de um relé de comando ou contactor pode solucionar este problema (PRILUTZKY et al., 1995).

Um dispositivo foi projetado e desenvolvido para medição da velocidade e direção de lagostas com o objetivo de observar o comportamento do animal. A atividade da lagosta é monitorada em um tanque com dimensões (213x25x25 cm). O princípio de funcionamento é baseado na interrupção de células elétricas. O pulso gerado pelas fotocélulas aciona um registrador com seis canetas que registra os eventos (BAYER et al., 1982).

A produção de moluscos bivalves está associada à cultura de algas e manutenção (alimentação e água). Os custos envolvidos com a produção destes organismos podem ser reduzidos incrementando a produção (área/volume), minimizando procedimentos de laboratórios requeridos e utilizando cultura de algas mais eficientemente. As tecnologias de operações controladas por computador e recirculação de água oferecem potencial para atender este objetivo (PFEFFER & RUSCH, 2000).

A monitoração contínua do fornecimento de alimento é um importante fator para o sucesso da aquicultura. Este fator é mais acentuado para larvas pequenas, as quais têm um

metabolismo relativamente alto implicando em alimentação contínua. Um sistema computadorizado projetado e desenvolvido para gerenciar a alimentação utiliza tabelas de alimentação e regula a distribuição através de um conjunto de hardware e software. O sistema automático aciona bombas peristálticas e válvulas solenóides para a distribuição de alimento nos tanques. O sistema oferece as opções de alimentação de acordo com as tabelas ou manualmente. A alimentação é programada para um período de 24 hs (PAPANDROULAKIS, 2002).

Sistemas de suporte a decisão (DSS) são ferramentas valiosas para a economia e impactos ecológicos para decisões alternativas na aquicultura. É importante caracterizar estes sistemas quanto a filosofia de projeto, função dos módulos e áreas de aplicação. A ferramenta de decisão deve ser desenvolvida de acordo com a análise requerida do sistema de modo a facilitar a tomada de decisão através de simulação de modelos. Estas ferramentas podem ser projetadas e implementadas usando os princípios da orientação a objetos. O software utiliza tabelas de decisão para fornecer simulações genéricas, tempo de fluxo, sincronização e características de comunicação necessárias para modelos complexos baseados em DSS's. A arquitetura do sistema indica a estrutura do banco de dados, uma base de conhecimentos baseada em especialistas, modelos de ecossistemas e vários mecanismos de suporte a decisão (gerenciamento de cenários alternativos, análises econômicas e dados para visualização) (BOLTE et al., 1999).

Um sistema projetado para controlar, em malha fechada, a salinidade e temperatura de tanques de cultivo comercial utiliza a dosagem de água doce fria para controlar ambas as variáveis. A mistura de água doce através deste sistema mostra a resposta dos organismos a diferentes regulagens de salinidade e temperatura podendo assim determinar condições ótimas para a cultura (HARRELL et al., 1989).

De um modo geral, um sistema de recirculação para maturação de camarão consiste em uma tubulação, um tanque de maturação e um tanque bio-filtro separador. Durante a operação, a recirculação de água é feita quatro vezes diariamente. O sistema é construído em um ambiente com intensidade luminosa constante com uma densidade de 3 camarões/m<sup>2</sup>. Cada triagem demora 3 meses. A qualidade da água é mantida em condições ótimas durante a triagem, a maturação dependerá da qualidade do camarão e da qualidade do alimento fornecido.

A maturação cativa e o sucesso da reprodução do camarão gigante (*Panaeus monodon*) dependem basicamente de três fatores: nutrição, controle hormonal e meio ambiente. As dimensões físicas dos tanques de maturação têm importantes regras a serem seguidas. Tamanho do tanque, forma, comprimento e profundidade são fatores importantes. Tanques pequenos podem provocar matança entre os organismos. Tanques grandes são melhores, mas podem causar dificuldade em alimentar os camarões e manter os tanques sem um distúrbio excessivo (MENASVETA et al., 1989).

A elaboração de uma metodologia para caracterização do comportamento da temperatura em uma planta aquacultural em malha fechada é discutida por (GLOUANNEC, 1999). Um modelo dinâmico simplificado representa a resposta da temperatura em um volume de água definido. As entradas são a temperatura do meio, a isolamento e a energia injetada. De acordo com leituras experimentais, os valores dos parâmetros são obtidos através de critério de minimização do erro quadrático entre a temperatura na saída do modelo e a temperatura da água medida. Este modelo é utilizado para quantificar as perdas e cálculo de consumo de energia.

Na aquicultura intensiva, a alta densidade de algas pode levar a um alto pH da água. A relação entre a fotossíntese e respiração tem sido muito estudada. Em alguns casos um pH alto pode ser letal para algumas espécies de organismos aquáticos. Um pH suficientemente alto pode inibir o crescimento ou induzir a mortalidade. Alguns testes relacionam a eficiência de agentes como o sulfato de cálcio, carbonato de cálcio, ácido acético no controle de pH (POTE, 1990).

Recentes avanços na tecnologia de computadores têm trazido muitas mudanças na sociedade. Muitos artigos recentes sugerem o uso de computadores pessoais para gerenciar empresas de aquicultura. A análise computacional do consumo de alimento, a taxa de crescimento, entre outros parâmetros, pode trazer condições de *marketing* e uma vantagem competitiva sobre quem não tem acesso a estas informações. Microcomputadores podem ser usados para monitorar e controlar condições de ambiente em sistemas de aquicultura (PLAIA, 1987). Conectando o computador a uma variedade de sensores e dispositivos de controle precisos pode-se receber as informações analisá-las e comparar com um modelo matemático de um sistema ideal. Baseado nesta comparação o computador executa procedimentos

programáveis para controlar os parâmetros necessários entre os limites definidos no modelo. Por exemplo: um computador deve detectar a taxa de oxigênio dissolvido, para tanto o sistema fornece uma leitura de 2 ppm no cultivo. O programa de monitoração compara a leitura com o limite definido no modelo e considera o valor muito baixo. O sistema então aciona os aeradores automáticos para solucionar o problema.

Um sistema de aquisição de dados consiste de 5 atividades: (1) amostragem, (2) análise da amostragem, (3) monitoração contínua, (4) armazenamento de dados e (5) sistema de controle (LOSORDO et al., 1988). Um sistema automático de aquisição da qualidade da água desenvolvido na Universidade da Califórnia monitora e grava informações sobre a irradiação solar, radiação ativa, velocidade do vento, direção do vento, temperatura do ar, umidade relativa, oxigênio dissolvido, temperatura e pH.

Culturas de fitoplânctons são usadas para alimentar moluscos bivalves e outros organismos na produção em grande escala. A produção artificial de microalgas requer células vivas. A habilidade de produzir microalgas com economia é somente um fator a considerar. A conversão da biomassa de algas para o crescimento do organismo produto é muito importante. Para que se possa obter um aproveitamento ótimo da biomassa do alimento é preciso considerar dois pontos: (1) qualidade nutricional da microalga e (2) consumo ótimo, digestão e metabolismo do organismo mediante o uso da microalga (SMITH & WIKFORS 1998).

Os moluscos bivalves filtram células microscópicas de algas diante de um fornecimento contínuo de alimento ou limites de concentração definidos. Quando a densidade ótima de alimento é ultrapassada ocorre o desperdício de alimento e as células ingeridas podem ser mal digeridas. Quanto ao aspecto de custo isto é muito importante e a máxima eficiência do processo deve ser buscada. O uso de dispositivos automáticos para o controle da entrada de alimento no cultivo descrito por (HUGGINS, 1987). Um dispositivo fotoelétrico é utilizado para determinar as condições críticas da taxa de filtração dos moluscos bivalves. Este dispositivo utiliza um fototransistor que detecta as mudanças e atenuações causadas pela variação da média da concentração de células de alimento suspensas no cultivo. O sinal é comparado com uma tensão de referência, a qual pode variar de acordo com a quantidade de alimento desejada. Uma válvula eletromagnética é atuada até que a concentração de alimento atinja o valor desejado.



## ***3 – MODELAGEM DO SSC – UML***

### ***3.1 Introdução***

Devido às vantagens da OO na análise de sistemas de controle (flexibilidade na representação, polimorfismo, reutilização, herança, tolerância a falhas, etc) foi desenvolvido durante a análise do sistema um modelo OO.

Com o objetivo de mostrar a arquitetura do sistema, suas funções, o estado dos dispositivos, os relacionamentos entre as classes e a interação entre os componentes foi utilizada a Linguagem de Modelagem Unificada (UML) a qual une as principais características dos principais métodos de desenvolvimento de sistemas OO.

Para que se tenha uma ampla visão durante a fase de implementação foram utilizados os seguintes diagramas UML:

- Diagrama de casos de uso;
- Diagrama de classes;
- Diagrama de estados;
- Diagrama de seqüência;
- Diagrama de componentes;
- Diagrama de dispositivos.

A seguir são apresentados estes diagramas.

### 3.2 Diagrama de casos de uso

Este diagrama apresenta as interações que o pesquisador tem com o sistema de controle. As setas que saem da figura pesquisador representam as ações possíveis de serem realizadas enquanto que as setas que chegam a figura pesquisador indicam as informações disponibilizadas pelo sistema.

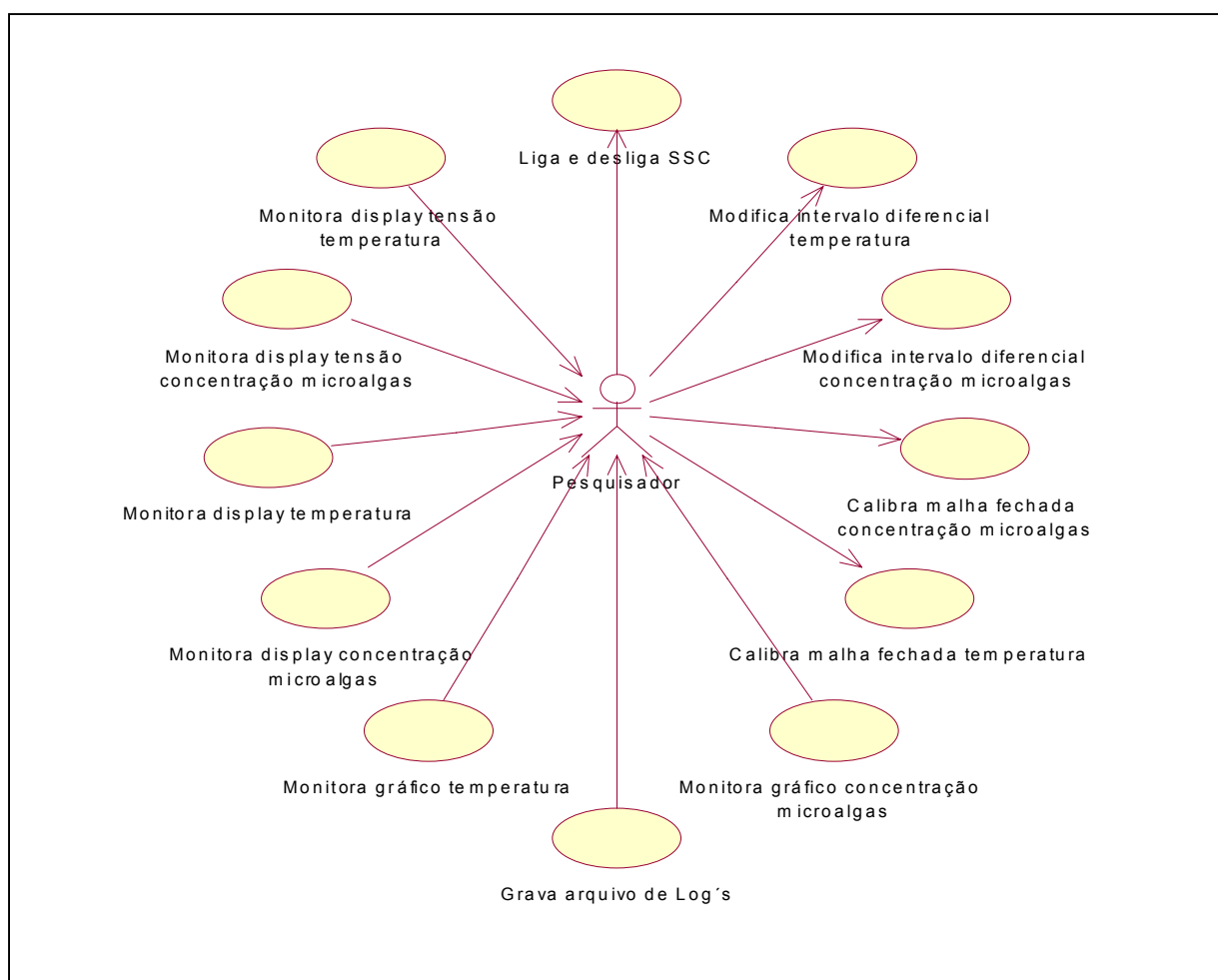


Figura 3.1: Diagrama de casos de uso

### 3.3 Diagrama de classes

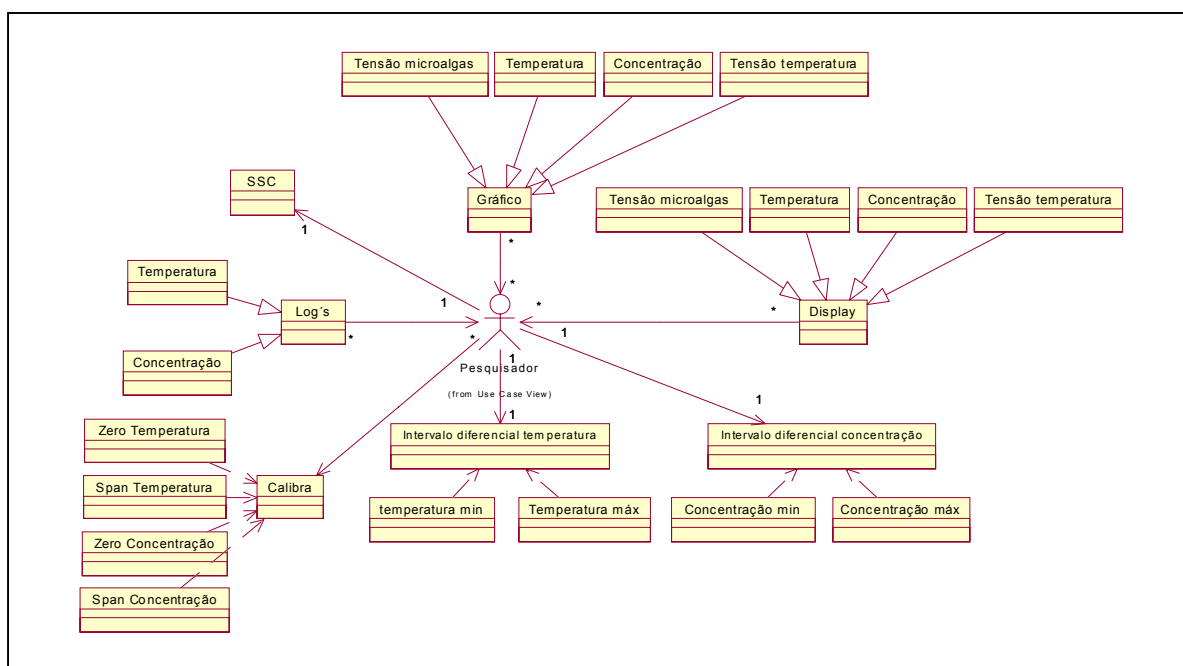


Figura 3.2: Diagrama de classes

O diagrama de classes representa a arquitetura do sistema e mostra seus componentes através de generalizações e especializações bem como seus relacionamentos.

### 3.4 Diagrama de estados

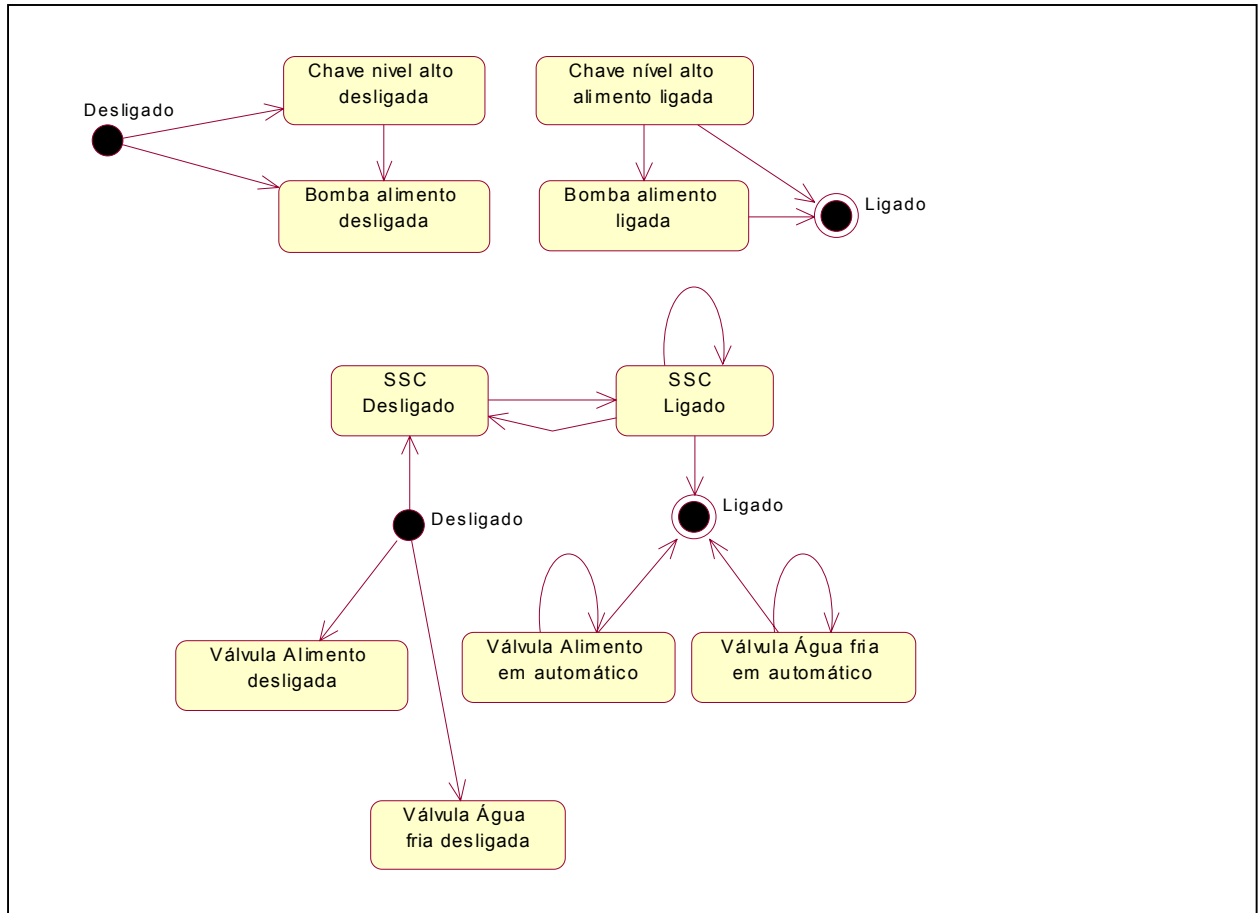


Figura 3.3: Diagrama de estados

Neste diagrama são apresentados os possíveis estados da bomba de pressão de alimento, a válvula de dosagem de alimento e a válvula de dosagem de água fria. Sempre que houver nível no tanque de alimento a bomba de alimento estará ligada. Uma vez que o SSC estiver operando em automático o acionamento das válvulas de dosagem de água fria e alimento ficará em função do intervalo diferencial programado e a leitura dos respectivos sensores.

### 3.5 Diagramas de seqüência

#### 3.5.1 Diagrama de seqüência monitora gráficos

O diagrama a seguir representa a seqüência de operações que o pesquisador irá realizar para monitorar os gráficos disponibilizados pelo SSC.

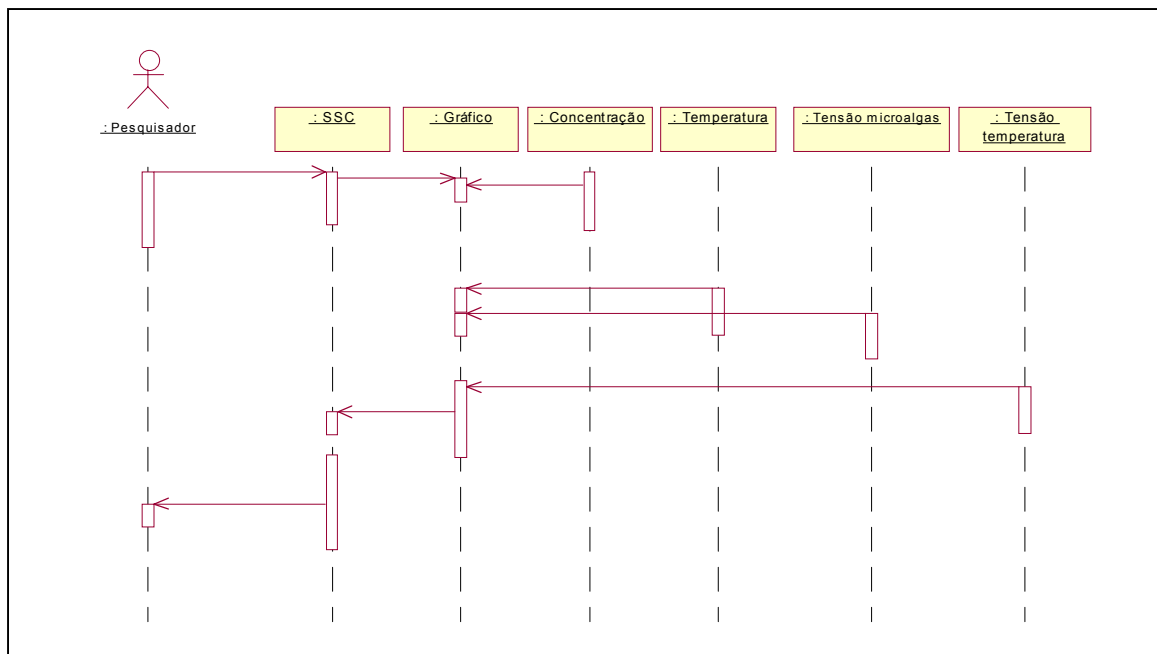


Figura 3.4: Diagrama de seqüência monitora gráficos

### 3.5.2 Diagrama de seqüência monitora display's

O diagrama a seguir representa a seqüência de operações que o pesquisador irá realizar para monitorar os display's disponibilizados pelo SSC.

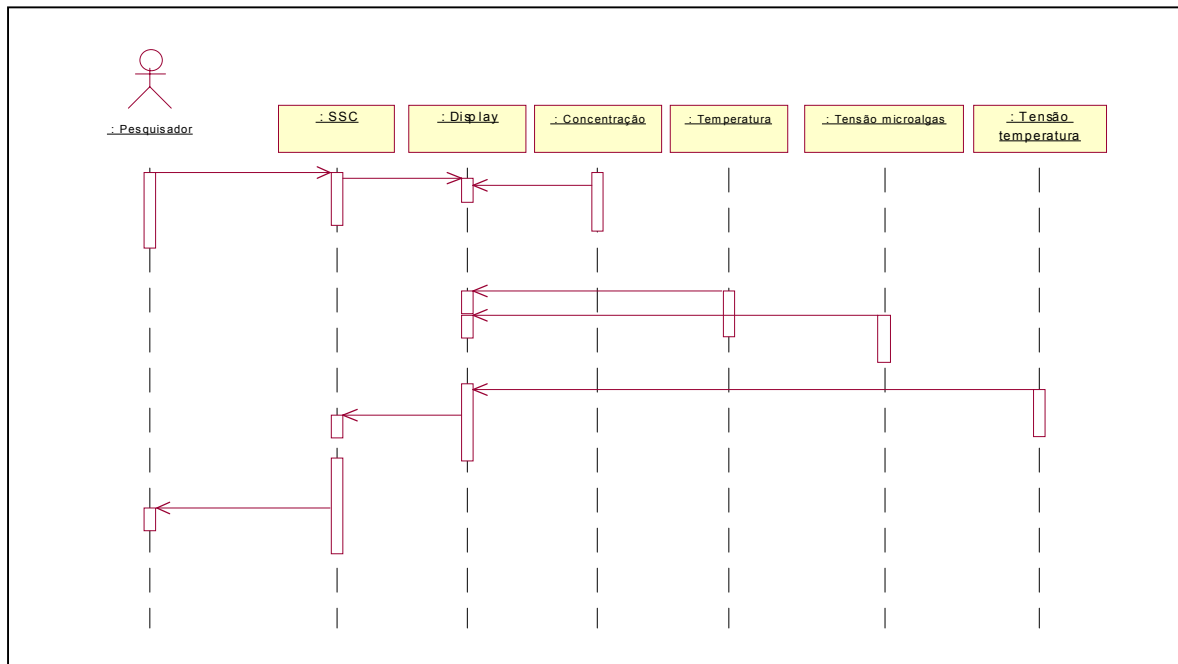


Figura 3.5: Diagrama de seqüência monitora display's

### 3.5.3 Diagrama de seqüência modifica intervalo diferencial

O diagrama a seguir representa a seqüência de operações que o pesquisador irá realizar para alterar os intervalos diferenciais para concentração de microalgas e temperatura.

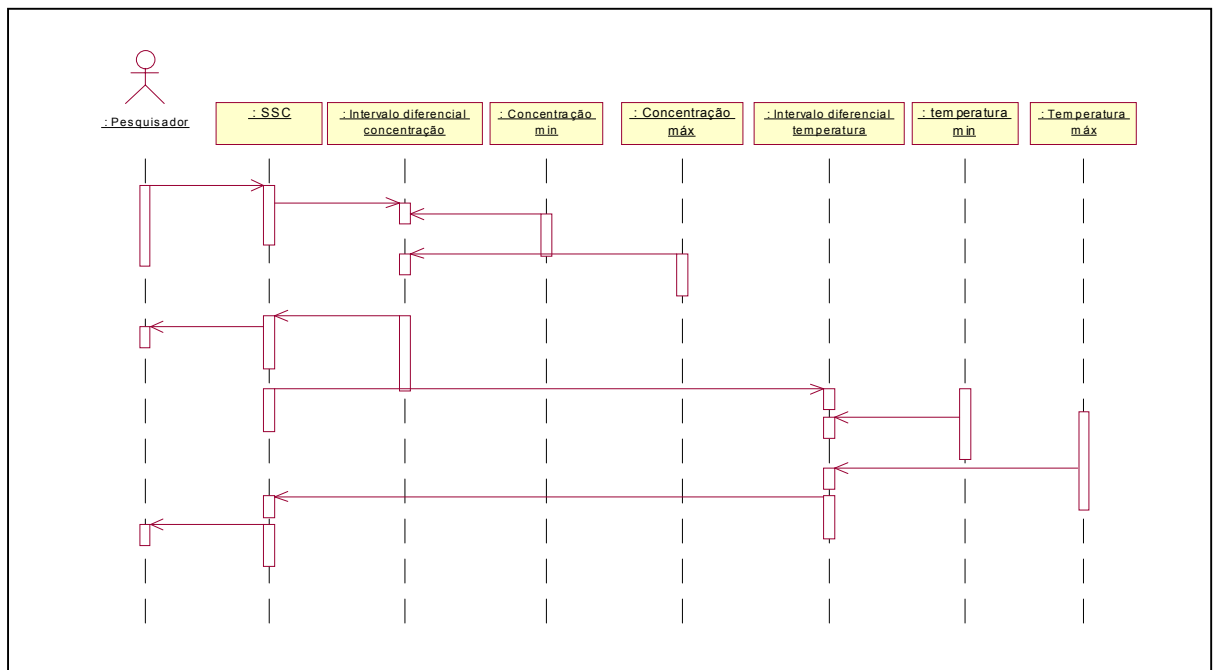


Figura 3.6: Diagrama de seqüência modifica intervalo diferencial

### 3.5.4 Diagrama de seqüência calibra malha fechada

O diagrama abaixo mostra a seqüência de operações que o pesquisador irá realizar para programar os intervalos diferenciais para temperatura e concentração de microalgas.

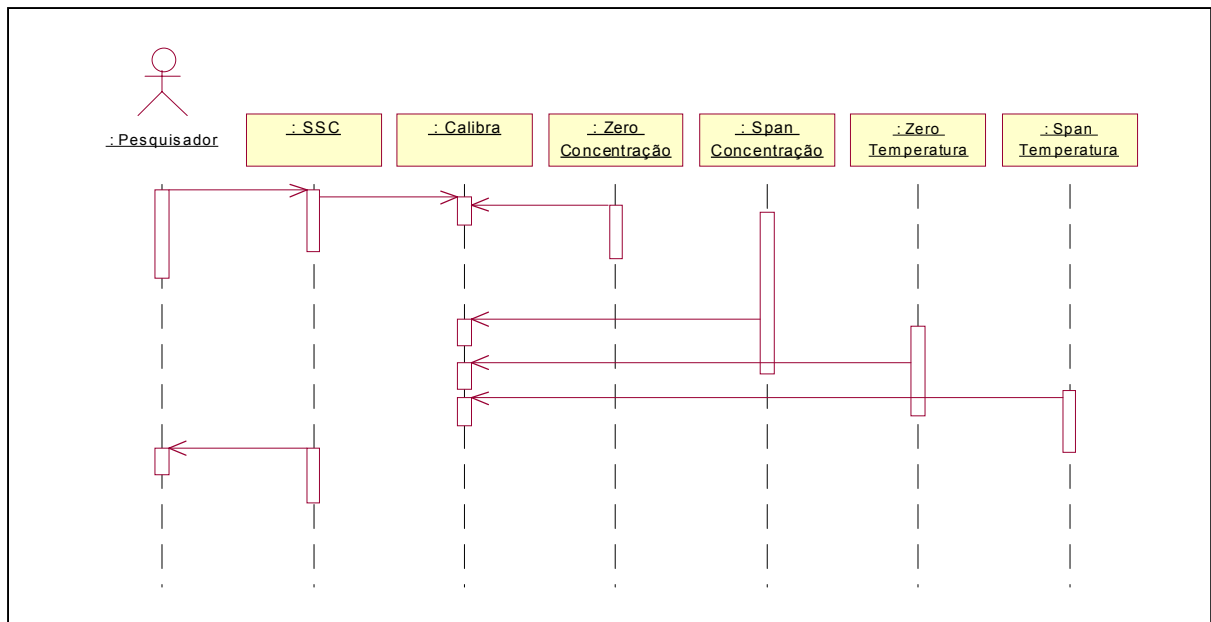


Figura 3.7: Diagrama de seqüência calibra malha fechada



### 3.5.5 Diagramas de componentes

O Diagrama a seguir apresenta o acoplamento entre os componentes do sistema.

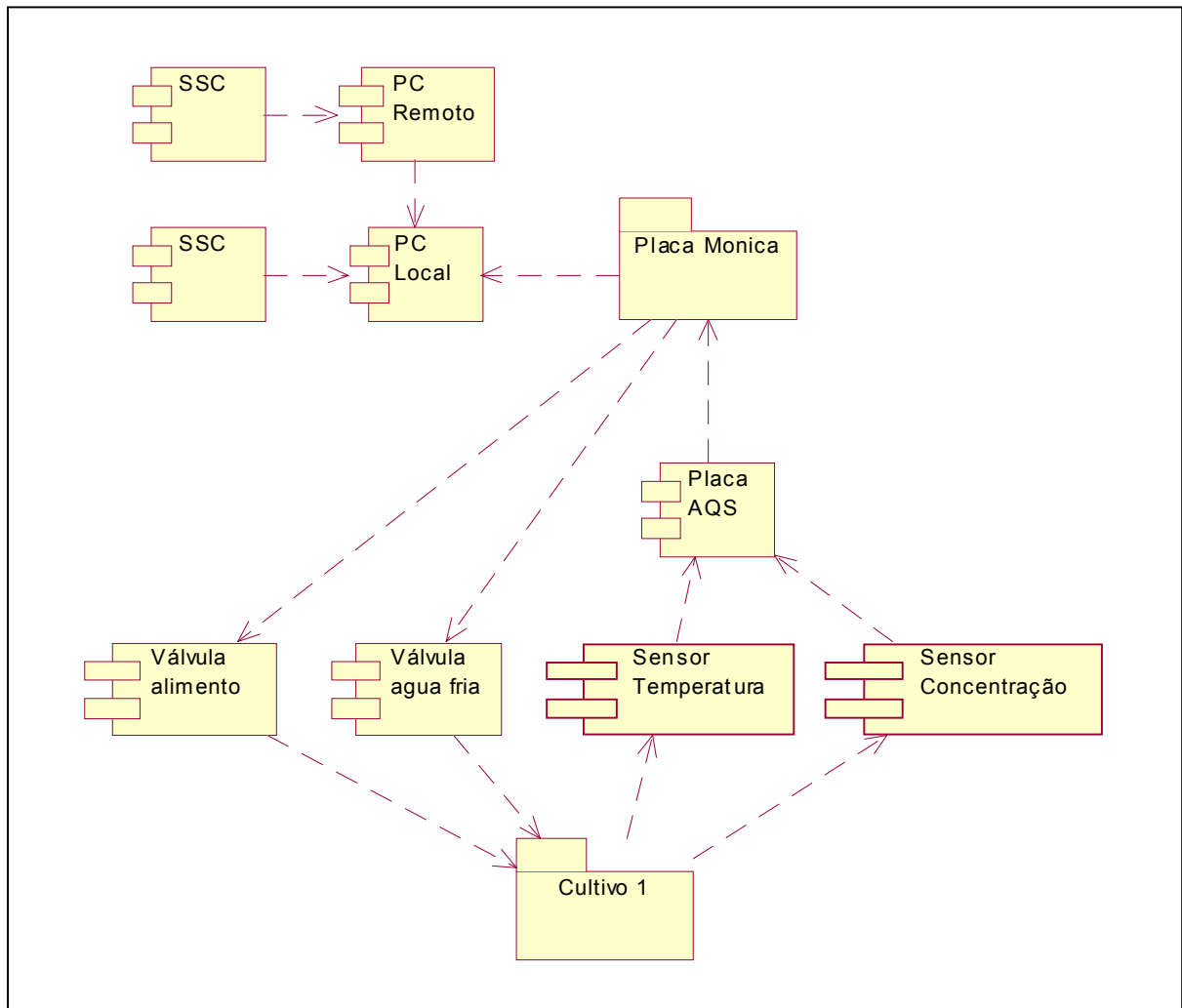


Figura 3.8: Diagrama de componentes

### 3.5.6 Diagrama de dispositivos

O Diagrama a seguir mostra a interconexão entre os processadores e os dispositivos do sistema.

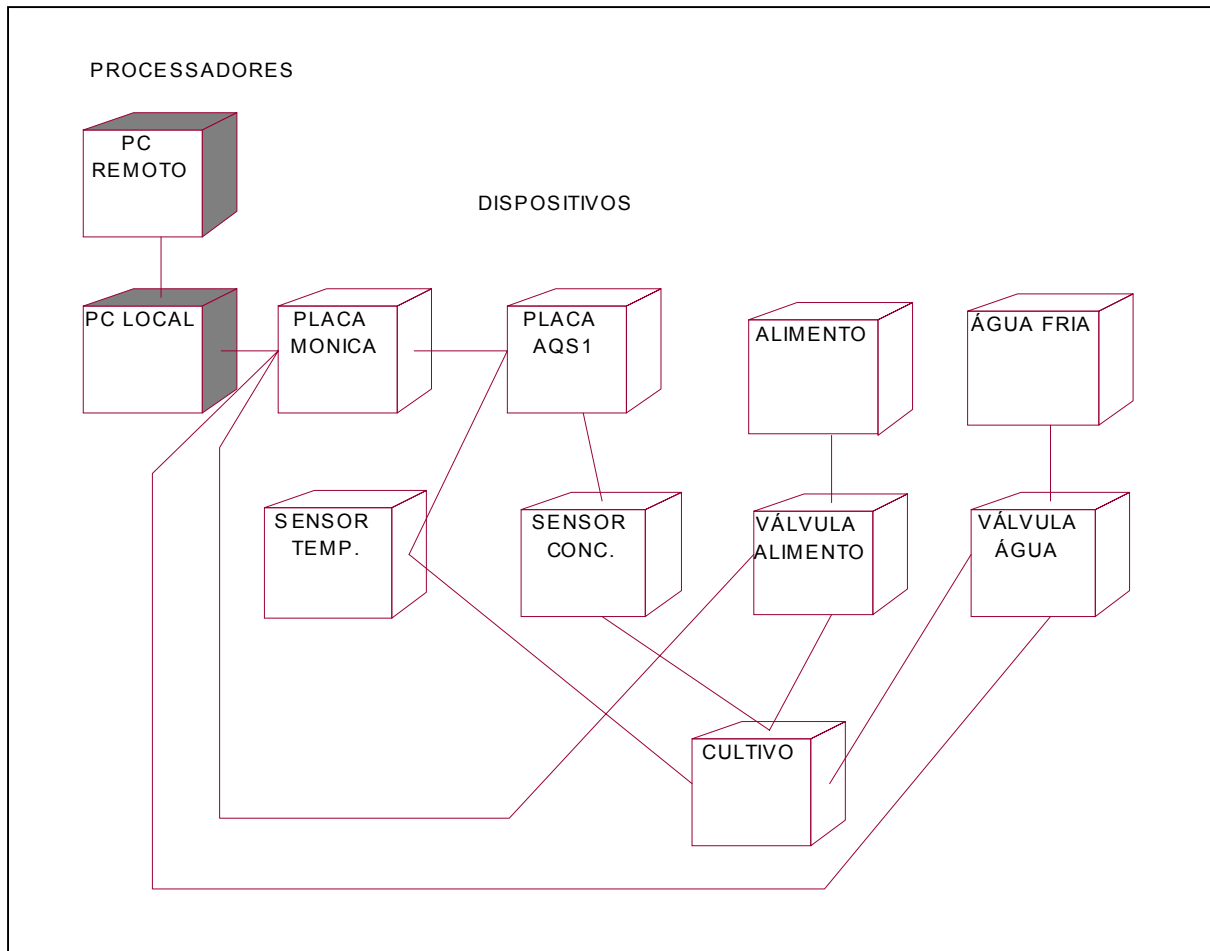


Figura 3.9: Diagrama de dispositivos

## 4 – MODELO MATEMÁTICO DO PROCESSO

A figura 4.1 mostra as entradas, a saída do processo e as hipóteses assumidas para a modelagem matemática.

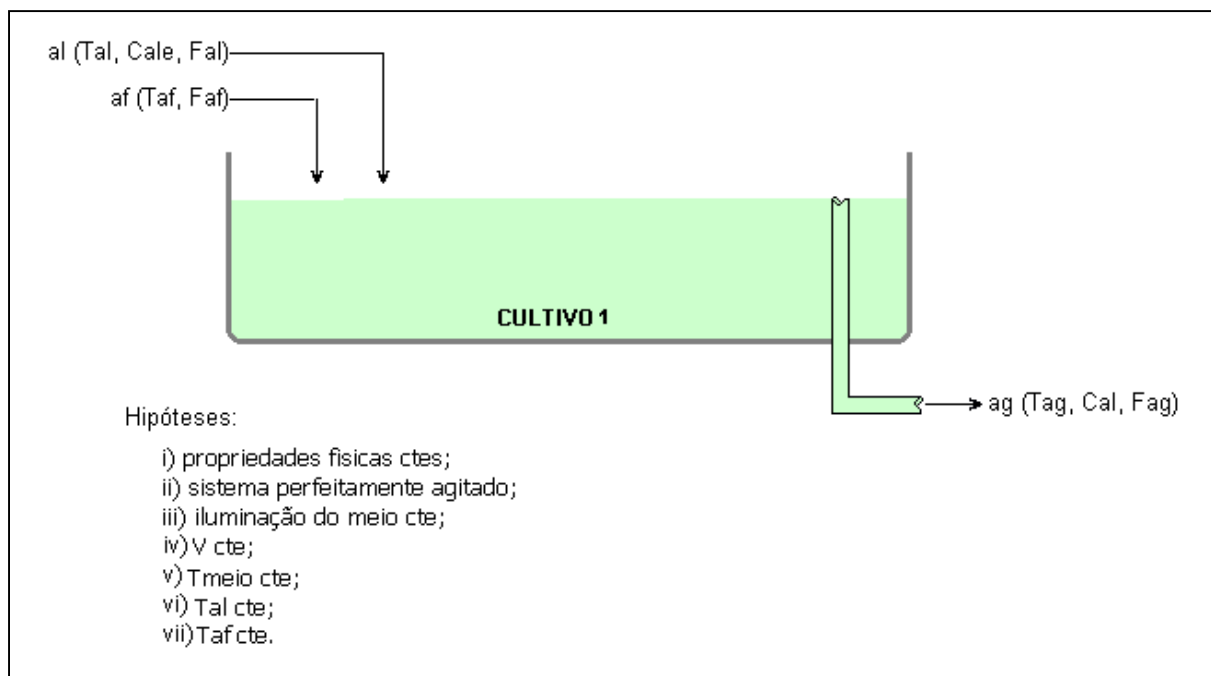


Figura 4.1: Entradas e saída do processo

Legenda:

<i>Nomenclatura</i>	<i>Descrição</i>
af	Água fria
ag	Água na saída
al	Alimento
Cal	Concentração de alimento
Cale	Concentração de alimento na entrada
Faf	Vazão de água fria

Fag	Vazão na saída
Fal	Vazão de alimento
Taf	Temperatura da água fria
Tag	Temperatura da água na saída
Tal	Temperatura do alimento
Tmeio	Temperatura do meio
V	Volume do tanque

Tabela 4.1 Legenda das entradas e saída do processo

A partir da modelagem matemática do processo (apêndice 10.8) foram obtidas as seguintes equações:

Balanço global de massa,

$$F_{ag} = F_{af} + F_{al}$$

Equação da concentração de microalgas,

$$(1) \quad V \frac{dC_{al}}{dt} = F_{al} C_{ale} - F_{ag} C_{al} - T_x NO$$

Equação da energia térmica.

$$(2) \quad V \frac{dT_{ag}}{dt} = F_{al} T_{al} + F_{af} T_{af} - F_{ag} T_{ag}$$

Função de transferência para a concentração de microalgas,

$$(3) \quad \tilde{C}_{al}(s) = G_1 \tilde{F}_{al}(s) + G_2 \tilde{C}_{ale}(s) - G_3 \tilde{F}_{ag}(s) - G_4 \tilde{NO}(s)$$

Função de transferência para a temperatura,

$$(4) \quad \tilde{T}_{ag}(s) = G_5 \tilde{F}_{al}(s) + G_6 \tilde{T}_{al}(s) + G_7 \tilde{F}_{af}(s) + G_8 \tilde{T}_{af}(s) - G_9 \tilde{F}_{ag}(s)$$

## ***5 – PROJETO DOS SENSORES DE CONCENTRAÇÃO E TEMPERATURA***

### ***5.1 Introdução***

Para que se possa medir a variação da concentração de alimento no tanque de cultivo é utilizada uma etapa de sensoriamento. Esta etapa consiste em converter a variável de processo em uma grandeza elétrica. Esta conversão possibilita posteriormente tratar esta informação de modo que seja possível enviá-la a um computador e executar uma lógica de controle. Nesta etapa foram realizados testes com diferentes componentes de modo a justificar a escolha dos elementos utilizados para a medição.

## 5.2 Princípio de funcionamento

Analisando o espectro de luz infravermelho, visível e ultravioleta próxima da figura 5.1, podemos notar os respectivos comprimentos de onda dados em nanômetros.

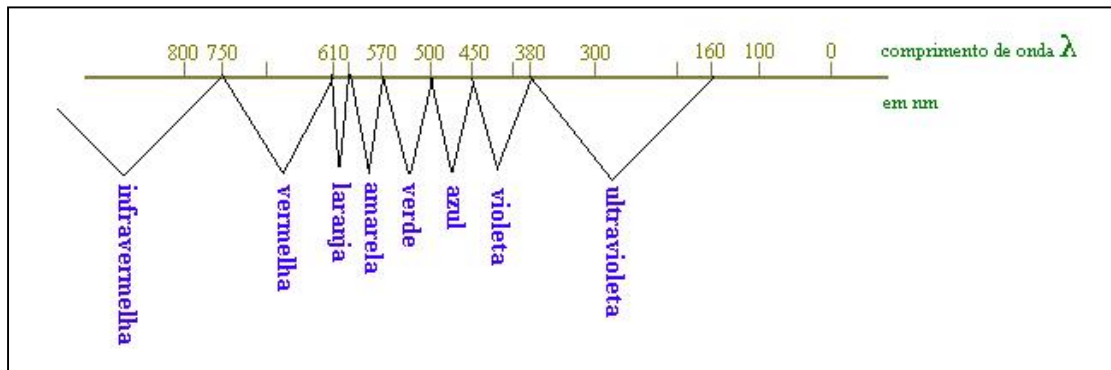


Figura 5.1: Espectro infravermelho, luz visível e ultravioleta (WATANABE, 1997).

O método utilizado para determinação da concentração de microalgas foi a medição da turbidez da água.

Experiências feitas durante a fase de desenvolvimento do sensor mostraram melhor absorbância de luz pelas microalgas em comprimentos próximos ao vermelho. Devido a esta característica, tornou-se viável a medição da concentração de microalgas. Ao fenômeno que serve como base para o princípio de funcionamento do sensor se dá o nome de Absorbância que representa uma absorção de determinados comprimentos de ondas pelas microalgas. Baseado neste princípio foram testados algumas cores dentre as quais o vermelho se mostrou a mais apropriada. O resultado que se tem mediante a absorbância da cor vermelha é uma variação da intensidade de luz no elemento receptor diretamente proporcional à concentração de microalgas no tanque de cultivo.

Os fatores que influenciam a medição são:

- Distância entre o emissor e o receptor;
- Potência do emissor;
- Comprimento de onda emitido.

Depois de definida a cor apropriada foram testados alguns elementos receptores como o fototransistor TIL78 e o LDR (resistor dependente de luz). A medição através de fototransistor apresentou algumas desvantagens, dentre elas podemos destacar: Circuito eletrônico mais elaborado necessitando de estágios como o oscilador, subtrador-inversor, amplificador operacional e um filtro passa-alta o que aumentaria o custo envolvido. O LDR mostrou-se eficiente para medição e apresentou maior simplicidade de construção, pois o LDR opera com um nível de corrente elétrica suficientemente alta para aquisição de dados.

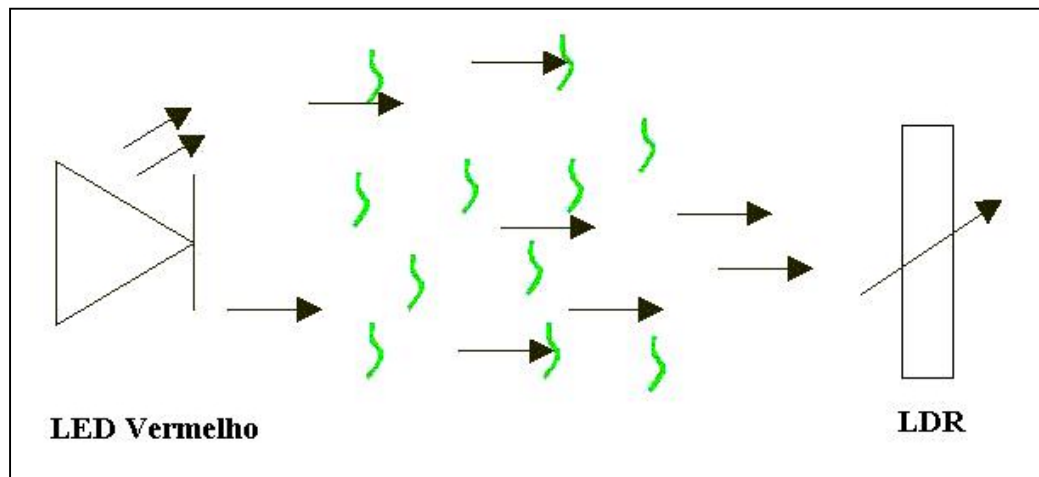


Figura 5.2: Princípio de funcionamento do sensor de concentração

Em alguns casos pode ser conveniente incluir um amplificador operacional para melhorar o nível do sinal proveniente do sensor.

Quanto ao aspecto de filtragem do sinal, para separar outros comprimentos de onda como a luz natural e a artificial, foi contornado este problema através de características construtivas do sensor montando o receptor dentro de um tubo de PVC e uma câmara de medição onde penetre somente a luz vermelha proveniente do emissor. Neste tipo de montagem é importante manter uma boa circulação da água com alimento no cultivo.

A seguir é mostrado o sensor implementado

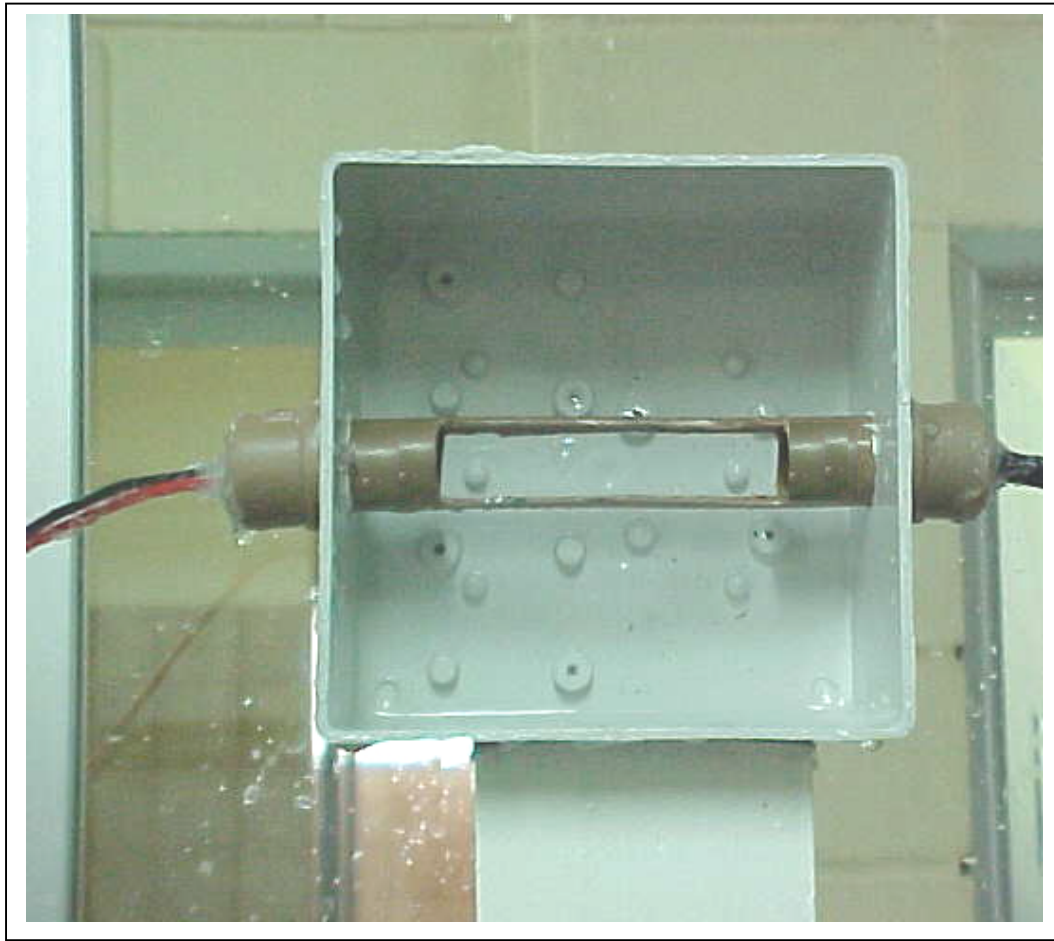


Figura 5.3: Sensor de concentração

Um sensor com as mesmas características é instalado na caixa de água fria e serve como referência para leitura da concentração. Esta referência serve para compensar a degradação do material dos sensores evitando assim sucessivas calibrações, uma vez que ambos os sensores degradam simultaneamente. No diagrama de controle o sinal de referência é subtraído do sinal de medição já que a água fria tem concentração de microalgas nula. Este artifício mede somente a variação da concentração no cultivo.



A seguir é apresentado o sensor de temperatura utilizado.



Figura 5.4: Sensor de temperatura

Este sensor é utilizado em automóveis para medição de temperatura. Tem como princípio de funcionamento a variação da resistência elétrica ( $\Omega$ ) diante da variação da temperatura. Esta variação tem coeficiente de temperatura negativo (NTC), isto é, quando a temperatura aumenta a resistência diminui.

### 5.3 Circuito eletrônico

Para a elaboração do circuito dos sensores de concentração e temperatura foi necessário projetar uma fonte 24 Vcc para alimentar o circuito. O modelo de fonte implementado com um transistor TIP3055 apresentou a estabilidade necessária para alimentar o circuito de medição diante das oscilações da tensão alternada da rede elétrica.

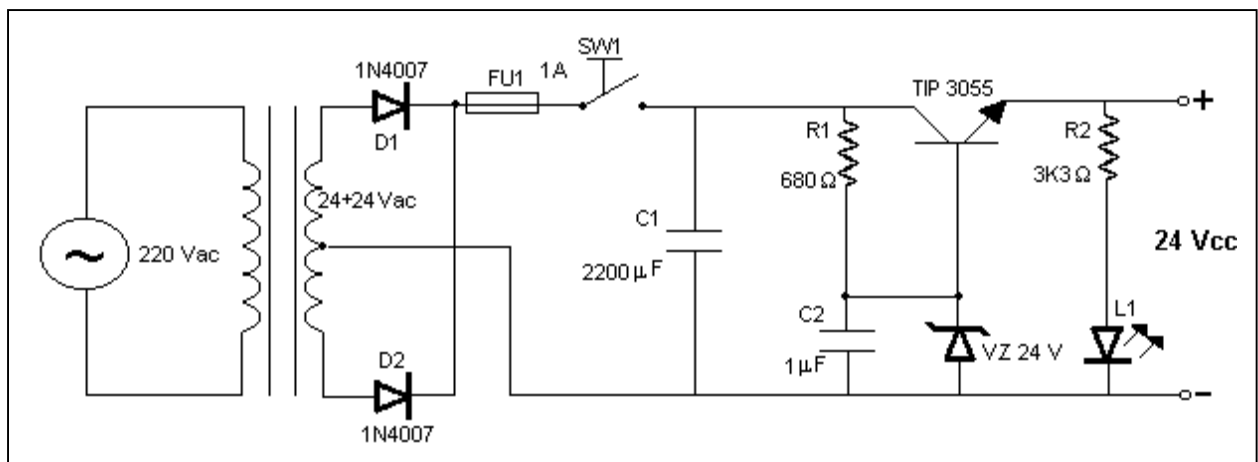


Figura 5.5: Circuito eletrônico da fonte 24 Vcc

O diodo zenner colocado na base do transistor garante a eficácia do circuito mantendo constante a corrente na base do transistor.

O estágio a seguir mostra o circuito de aquisição dos sinais provenientes dos sensores de concentração e temperatura.

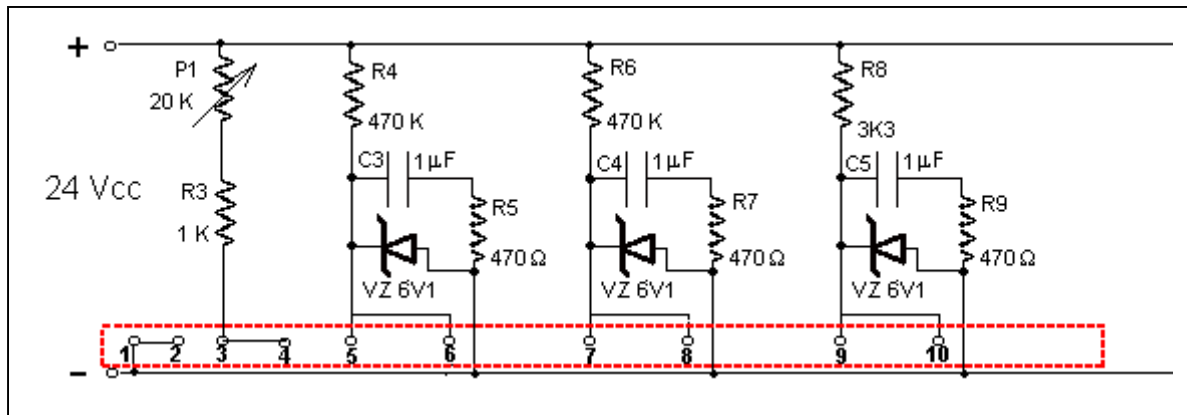


Figura 5.6: Circuito eletrônico de aquisição

Legenda:

<b>Borne</b>	<b>Descrição</b>
1:-	negativo
2:-	negativo
3:L1+	positivo led 1 (emissor do sensor de concentração)
4:L2+	positivo led 2(emissor do sensor de referência da concentração)
5:XE1	receptor do sensor de referência da concentração
6:MXE1	medição do sensor de referência da concentração
7:XE2	receptor do sensor de concentração
8:MXE2	medição do sensor da concentração
9:TE	sensor de temperatura
10:MTE	medição do sensor de temperatura

Tabela 5.1 Legenda do circuito eletrônico de aquisição

O potenciômetro P1 em série com o resistor R3 tem por finalidade regular a corrente dos led's vermelhos dos sensores de concentração e referência.

O resistor R4 funciona com um divisor de tensão ligado em série com o LDR do sensor de concentração, note que a medição de concentração feita no pino 6 é a tensão entre R4 e o LDR ligado ao pino 5. O diodo zenner vz6v1 tem a função de proteger a entrada analógica da

placa Monica que tem tensão nominal de entrada de 0-5 Vcc. Uma vez que o circuito é alimentado com 24 Vcc durante o manuseio e operação do sensor é comum que a tensão de entrada no pino 6 ultrapasse a tensão máxima de 5 Vcc necessitando assim da proteção do diodo zenner. O capacitor C3 em série com o resistor R5 caracteriza um filtro que tem o objetivo de eliminar possíveis ruídos provenientes dos acionamentos nas imediações do LCMM e da rede elétrica.

O resistor R6 faz o divisor de tensão ligado em série com o LDR do sensor de referência, note que a medição de concentração feita no pino 8 é a tensão entre R6 e o LDR ligado ao pino 7. O diodo zenner vz6v1 tem a função de proteger a entrada analógica da placa Monica. O filtro da entrada é composto pelo capacitor C4 e o resistor R7.

Um circuito semelhante é utilizado para medição de temperatura, o resistor R8 é o divisor de tensão ligado em série com o sensor resistivo, a medição de temperatura no pino 10 é a tensão entre R8 e o sensor resistivo ligado ao pino 9. O diodo zenner serve para proteger a entrada analógica da placa Monica, o capacitor C5 em série com o resistor R9 formam o filtro.

A seguir é apresentado o layout para confecção da placa eletrônica contendo a fonte e do circuito de aquisição:

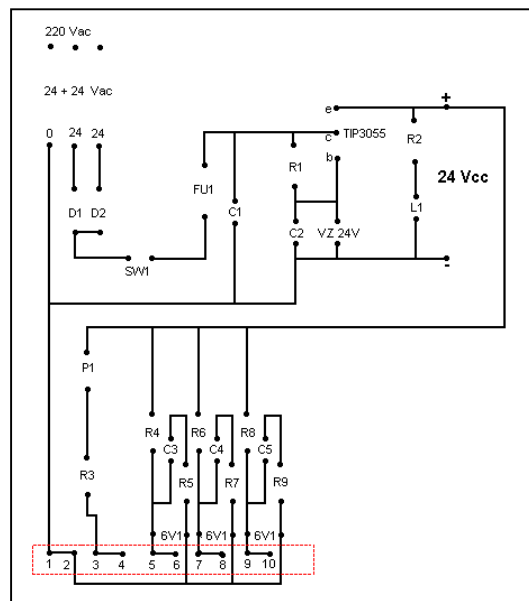


Figura 5.7: Layout para impressão dos circuitos eletrônicos

A seguir é mostrada a fonte e a o circuito de aquisição de dados implementado.

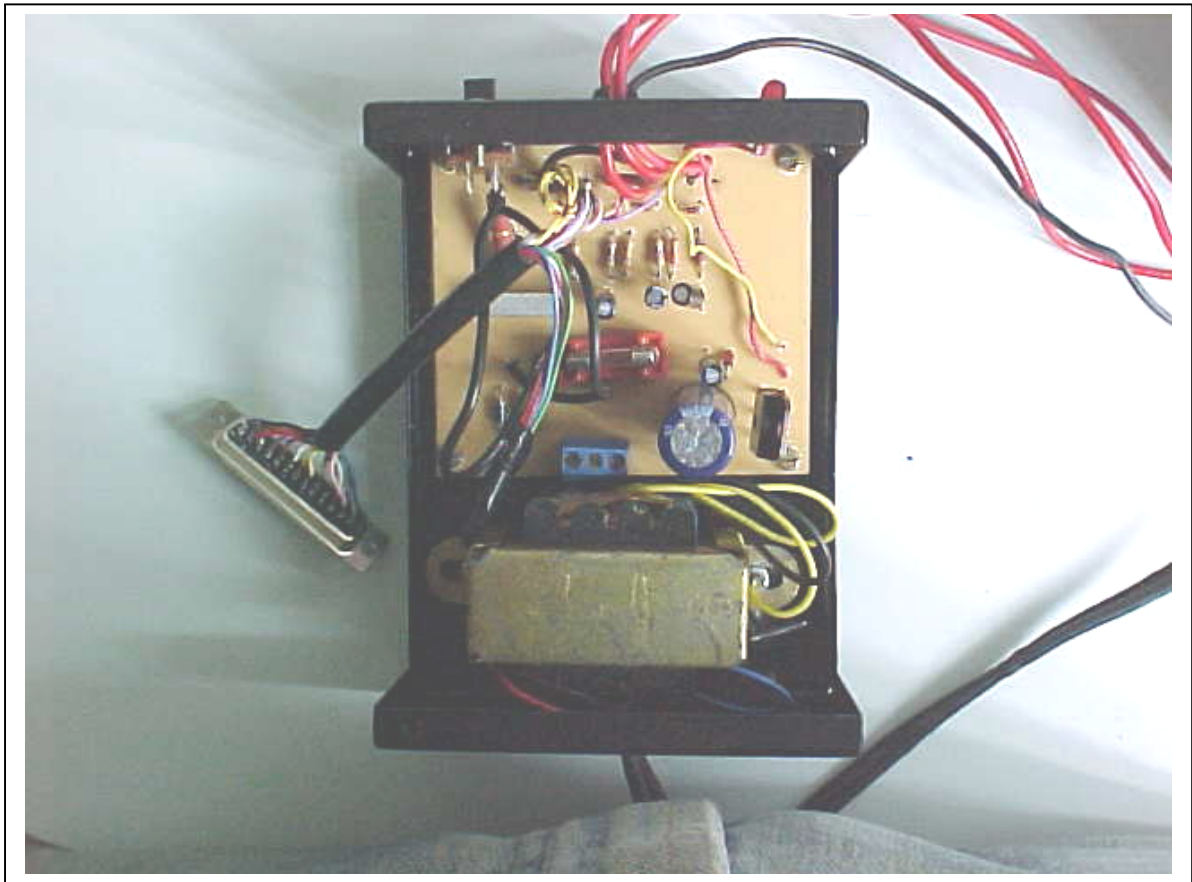


Figura 5.8: Placa de aquisição e fonte 24 Vcc

## ***6 – SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE***

### ***6.1 Introdução***

Segundo JASANY (1992), um sistema é a coleção de objetos interagentes, designado para alcançar um objetivo específico ou um conjunto de objetivos para processar a manipulação e controle de recursos como matéria, energia e informação.

De acordo com (LARIN, 1989), um sistema automático pode ser então dividido em duas partes, onde uma utiliza como recursos energia/matéria e a outra a informação. As duas partes obtêm estes recursos do meio ambiente e interagem através de informações. Este sistema é representado na figura a 6.1.

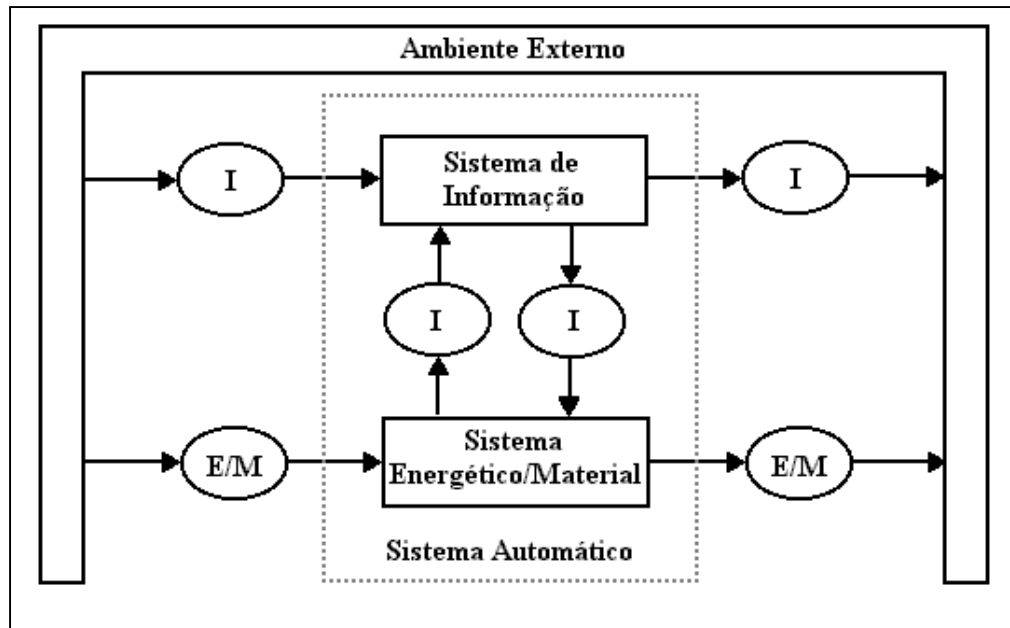


Figura 6.1: Sistema automático

O sistema Energético/Material é composto de elementos físicos que processam recursos energéticos e materiais, realizando uma tarefa determinada. A automatização é feita sobre a observação e controle das grandezas específicas deste processo, ou seja, seus fenômenos físico/químicos (rotação, vazão, temperatura, pH, etc.). O sistema de informação é composto por um computador e um programa coordenador de atividades, extraindo informações do sistema energético/material, processando-as e introduzindo modificações em resposta (LARIN, 1989).

De acordo com KIM (1993) para que o sistema de informação possa interagir com o energético/material é necessário o estabelecimento de canais de comunicação entre eles. Na figura 6.2 é apresentado o modelo automático detalhado, onde os canais de informação são apresentados como subsistemas de medição (SM) e subsistemas de atuação (SA), que possuem partes no sistema de informação e partes no sistema energético/material.

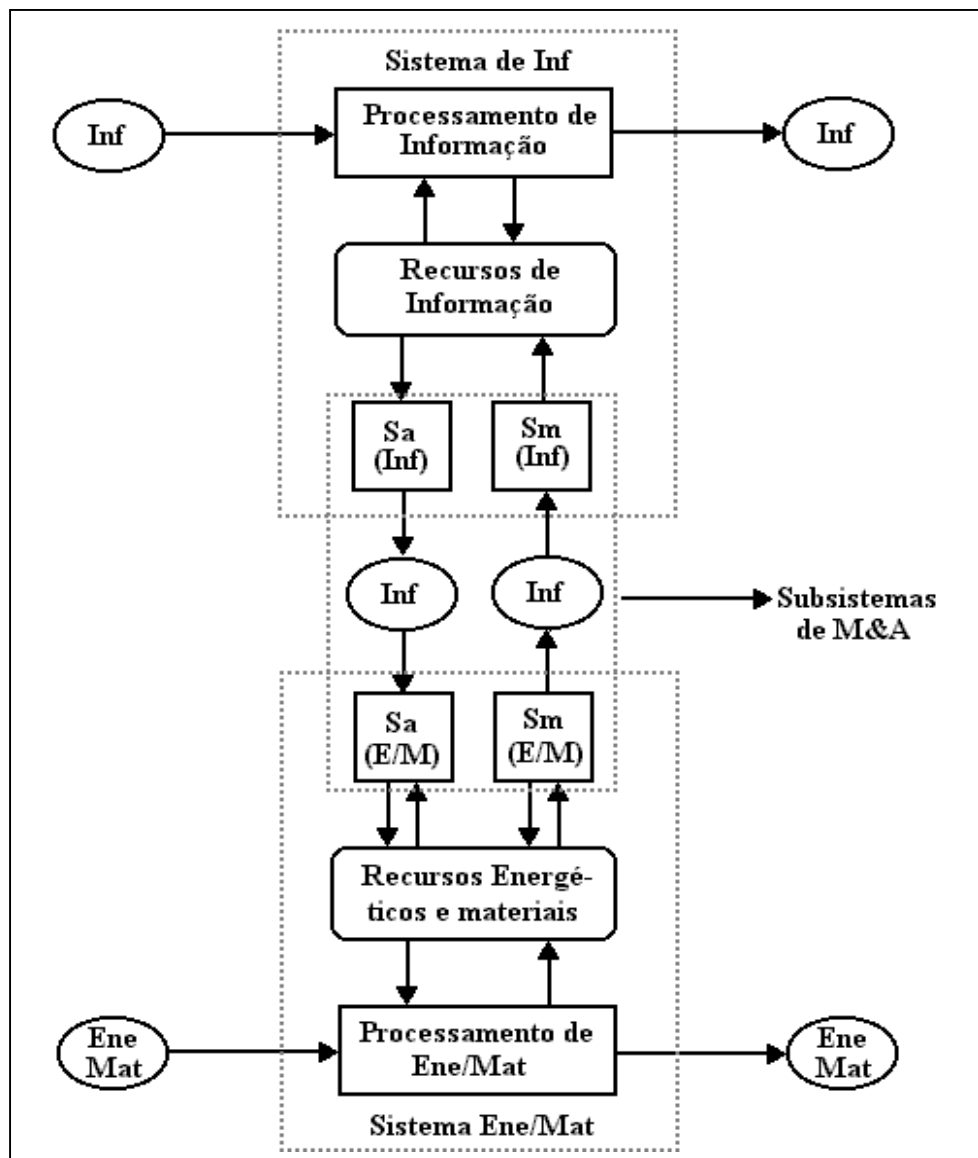


Figura 6.2: Modelo detalhado de um sistema automático

Complementando JASANY (1992) aponta, com base nestes novos elementos, e centrando a atenção nos subsistemas de medição e atuação, um sistema automático pode ser dividido em quatro partes:

1. O meio físico, ou sistema energético material, do qual o sistema extrai informações e atua;
2. O subsistema de medição (SM), que capta informações sobre grandezas do meio físico e as envia para o computador;



3. O subsistema de atuação (SA), que permite ao computador introduzir alterações em grandezas do meio físico;
4. O computador, ou sistema de informação, que interage entre a medição e a atuação, gerenciando o funcionamento destes.

Na figura 6.3 a seguir é apresentado um modelo de um sistema de medição e atuação em que o computador se caracteriza como sistema de informação, exercendo o papel central no gerenciamento das informações.

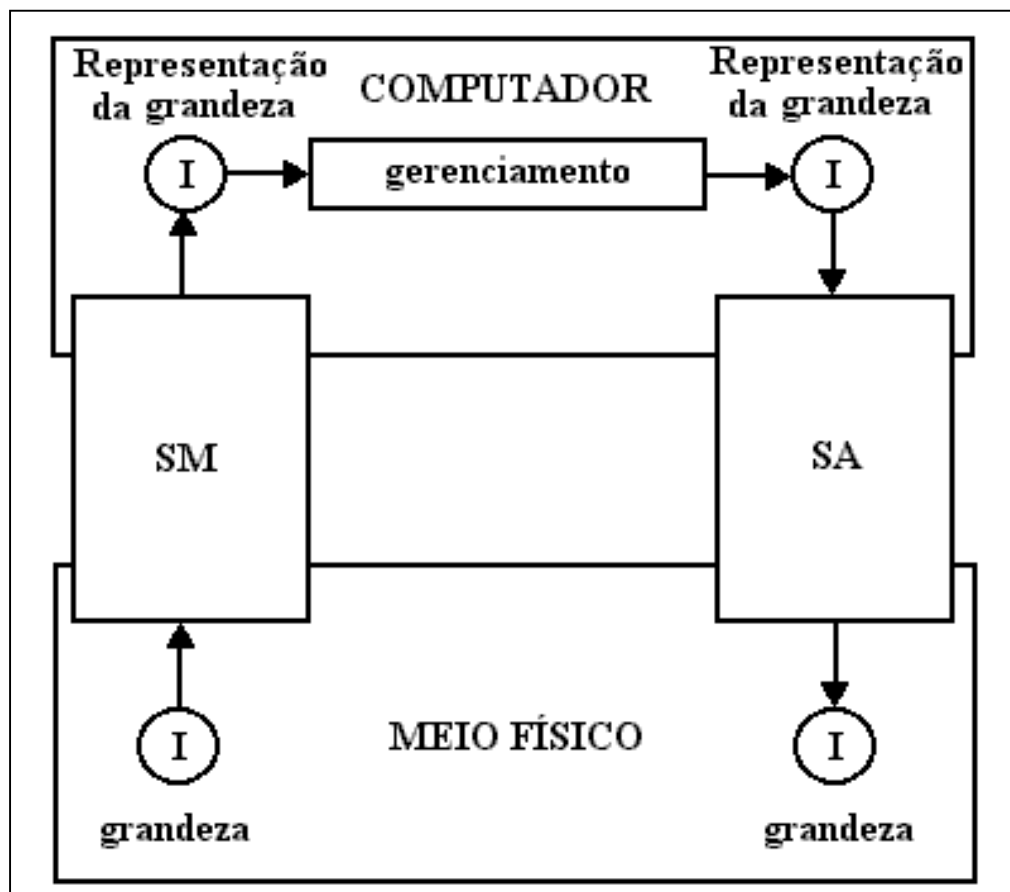


Figura 6.3: Diagrama de blocos SA e SM

Os diversos elementos interagem através de sinais que são os transportadores de informação. Tanto o subsistema de medição quanto o subsistema de atuação são compostos de instrumentos que compatibilizam as diferentes formas que os sinais podem apresentar na transferência de informações entre o computador e o meio físico (JASANY, 1992). Estas formas são caracterizadas em função da natureza dos fenômenos monitorados/controlados e também dos instrumentos de medição e atuação utilizados (LARIN, 1989). Como pode ser observado na figura 6.4, partes dos subsistemas de medição e atuação invadem os limites do computador, dificultando traçar uma fronteira bem definida entre estes, como acontece no uso de placas de aquisição encaixáveis no sistema eletrônico do computador. O mesmo ocorre com relação ao meio físico onde os sensores e os atuadores são imersos. A figura 6.4 ilustra o modelo de um sistema mais detalhado com componentes básicos necessários para uma aplicação em um sistema técnico.

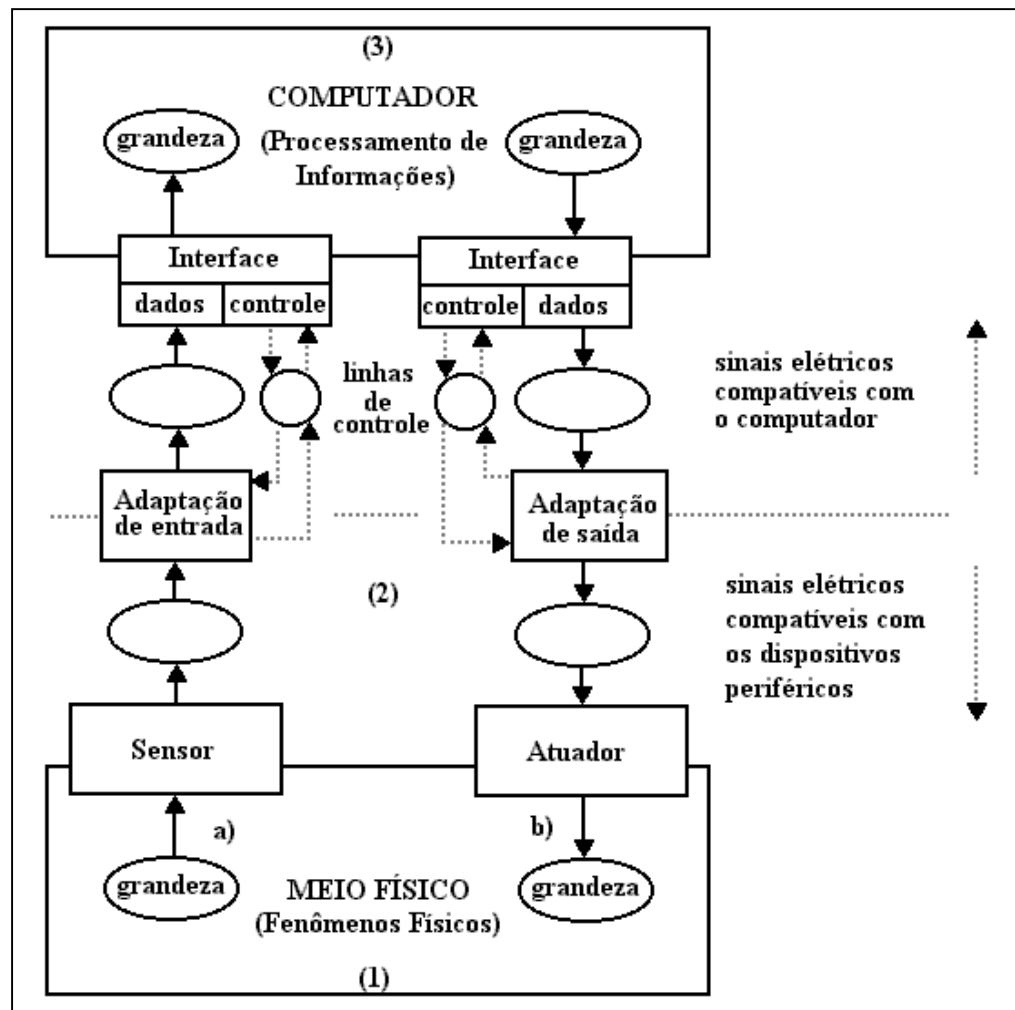


Figura 6.4: Elementos de um sistema de medição e atuação

Através da Figura 6.4 pode-se delimitar três níveis de sinais, de acordo com a natureza dos dispositivos e seus sinais característicos:

Meio físico: a) transformação de uma grandeza da medição de um fenômeno físico em sinais elétricos fornecidos pelos sensores; b) sinais elétricos sendo transformados sobre uma grandeza no meio físico através de atuadores.

Adaptação: Os sinais que provêm dos sensores ou são fornecidos aos atuadores necessitam de adaptações em seus níveis elétricos, sincronismo, frequência e/ou isolamento, permitindo a manipulação pelo computador;

Computador: Neste nível, além do processamento da informação sendo recebida e enviada, são disponíveis meios de atuação sobre o próprio processo de adaptação através de canais de controle e verificação do estado dos elementos da adaptação. O componente que fornece esta funcionalidade ao computador é denominado interface (KIM, 1993).

## 6.2 Diagrama do Processo

A seguir é apresentado o diagrama de instrumentação do processo.

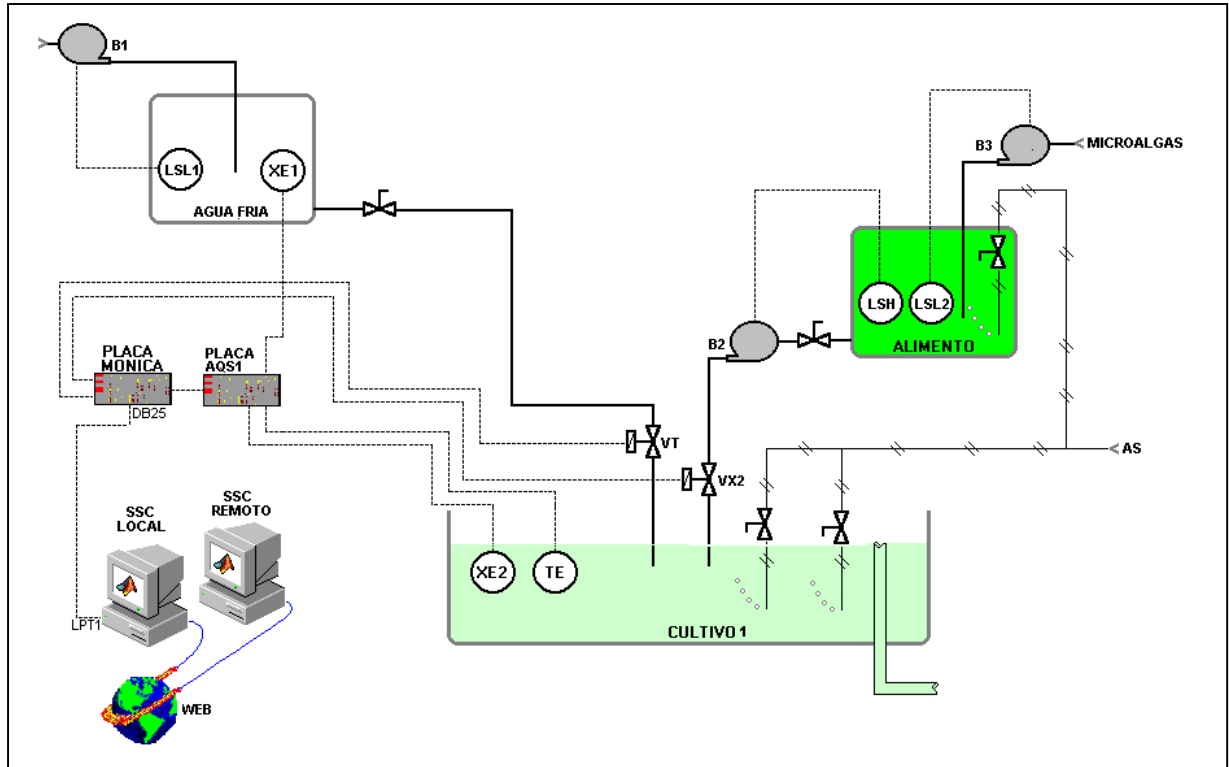


Figura 6.5: Diagrama de instrumentação do processo

Tag	Descrição
B1	Bomba de água fria
B2	Bomba de pressão de alimento
B3	Bomba de alimento
LSL1	Chave de nível baixo 1
LSL2	Chave de nível baixo 2
LSH	Chave de nivela alto
XE1	Sensor de referência da concentração
XE2	Sensor de concentração
TE	Sensor de temperatura
VT	Válvula solenóide de água fria
VX2	Válvula solenóide de alimento

Tabela 6.1 Legenda do diagrama de instrumentação do processo

A chave de nível LSL1 aciona a bomba para manter o nível alto no tanque de água fria. O sensor de turbidez XE1 colocado no tanque de água fria serve como referência para medição da concentração uma vez que se tem ausência de microalgas.

A chave de nível LSL2 aciona a bomba para manter o nível alto no tanque de alimento. A chave de nível LSH liga a bomba para pressurizar a linha de alimento. Os sensores XE2 (concentração de alimento) e TE (temperatura) instalados no cultivo fornecem as medições dessas variáveis de processo. As válvulas solenóides VT e VX2 fazem a dosagem de água fria e alimento respectivamente.

### 6.3 Diagrama do Simulink/Matlab

Para elaboração do diagrama do SSC foram utilizados o simulink e o toolkit da placa Monica, depois de instalada a ferramenta é possível localizá-la de acordo com a figura 6.6.

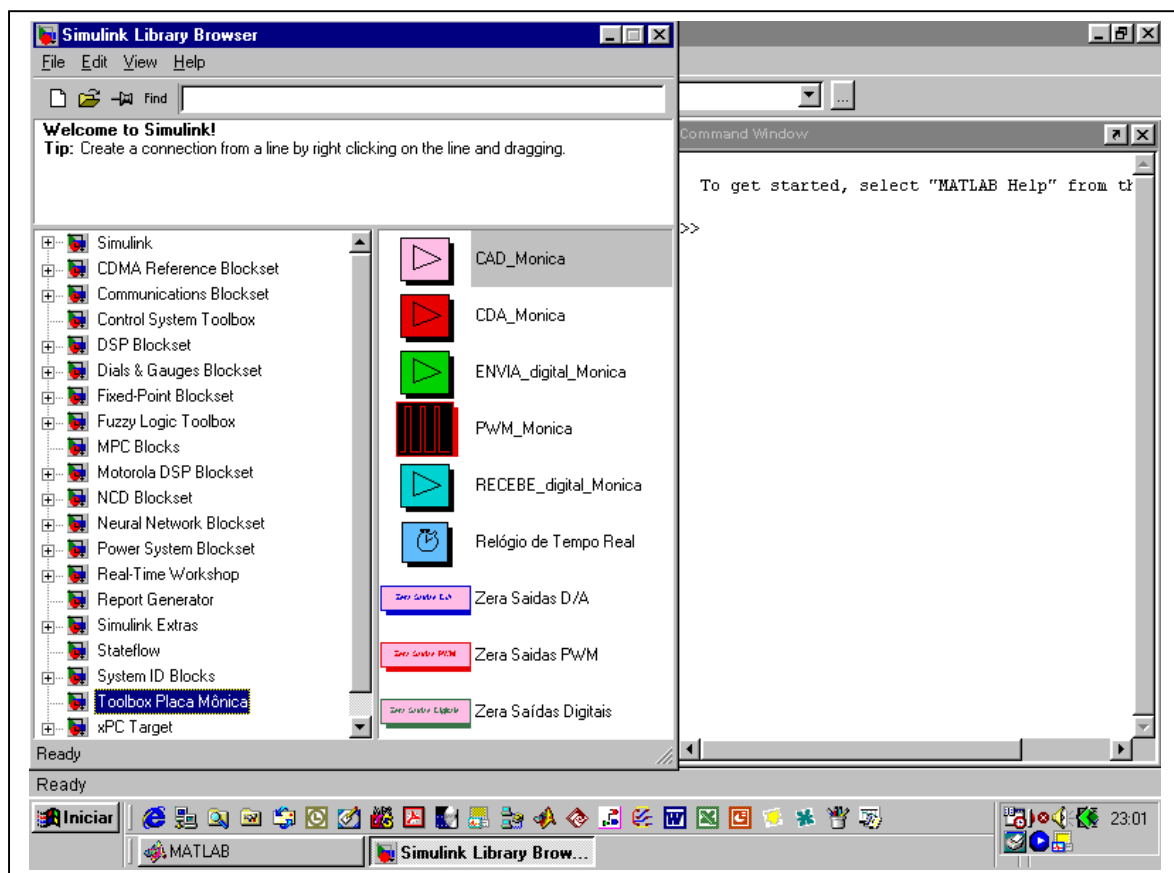


Figura 6.6: Toolkit Monica

Utilizando o toolkit Monica e outras ferramentas disponíveis no Simulink foi construído o diagrama a seguir:

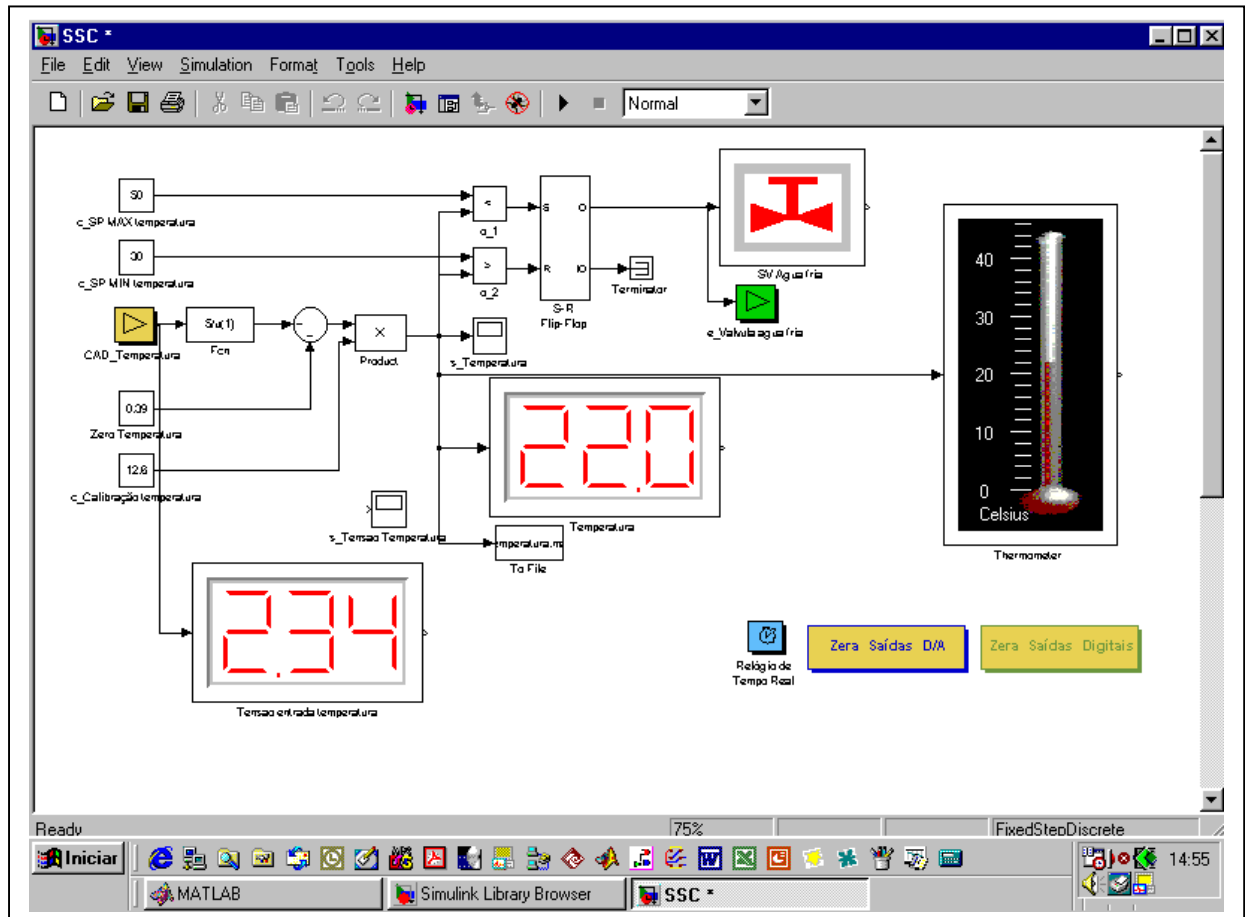


Figura 6.7: Diagrama de controle de temperatura SIMULINK/MATLAB

A figura 6.7 refere-se ao controle de temperatura. No canto superior direito observa-se as constantes dos valores mínimo ( $C\_SP\_MIN\_Temperatura$ ) e máximo ( $C\_SP\_MAX\_Temperatura$ ) do intervalo diferencial. Estes valores são comparados através dos operadores relacionais ( $a_1$  e  $a_2$ ) com o sinal da temperatura proveniente da aquisição ( $CAD\_Temperatura$ ).

O Flip-Flop (S-R Flip-Flop) liga e desliga a válvula de água fria diante do resultado dos operadores relacionais. As constantes (Zero Temperatura) e ( $c\_calibração\ Temperatura$ ) são determinadas durante o procedimento de calibração da malha de temperatura.

O display (Tensão entrada temperatura) indica o valor da entrada analógica, em volts, da placa Mônica. O display (Temperatura) indica o valor em graus Celsius do cultivo.

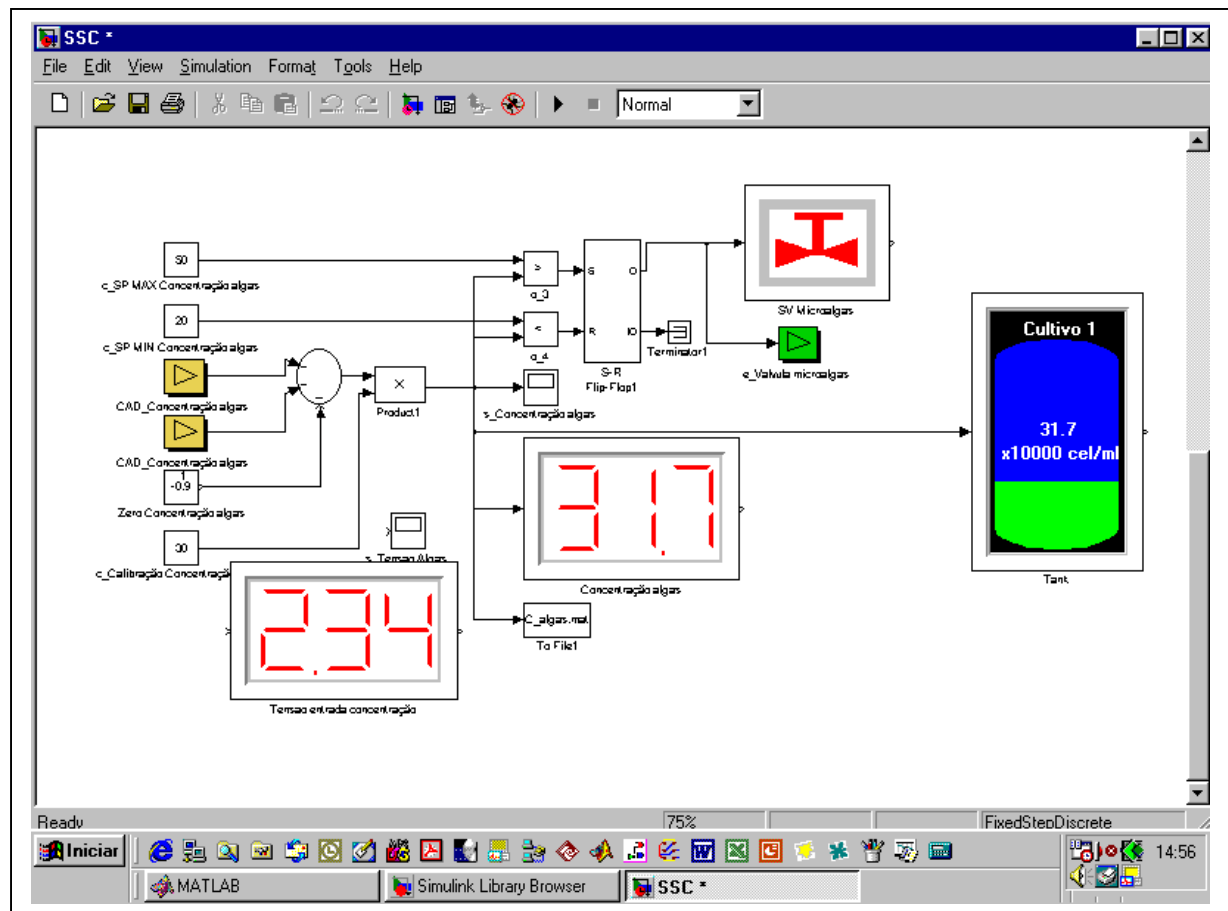


Figura 6.8: Diagrama de controle da concentração de microalgas SIMULINK/MATLab

A figura 6.8 refere-se ao controle da concentração de alimento. No canto superior direito observa-se as constantes dos valores mínimo (C\_SP\_MIN\_Concentração algas) e máximo (C\_SP\_MAX\_Concentração algas) do intervalo diferencial. Estes valores são comparados através dos operadores relacionais (a3 e a4) com o sinal da concentração proveniente da aquisição (CAD\_Concentração algas). Note que o valor da medição da concentração é subtraído do valor do sensor de referência da concentração instalado no tanque de água fria.

O Flip-Flop (S-R Flip-Flop1) liga e desliga a válvula de alimento diante do resultado dos operadores relacionais. As constantes (Zero\_Concentração algas) e (c\_calibração Concentração algas) são determinadas durante o procedimento de calibração da malha de concentração algas.

O display (Tensão entrada concentração) indica o valor da entrada analógica , em volts, da placa Mônica. O display (concentração algas) indica o valor em células/ml x 10<sup>4</sup>.

## 6.4 Diagrama elétrico

A figura 6.9 mostra as conexões elétricas entre os dispositivos da sala de controle e o cultivo 1.

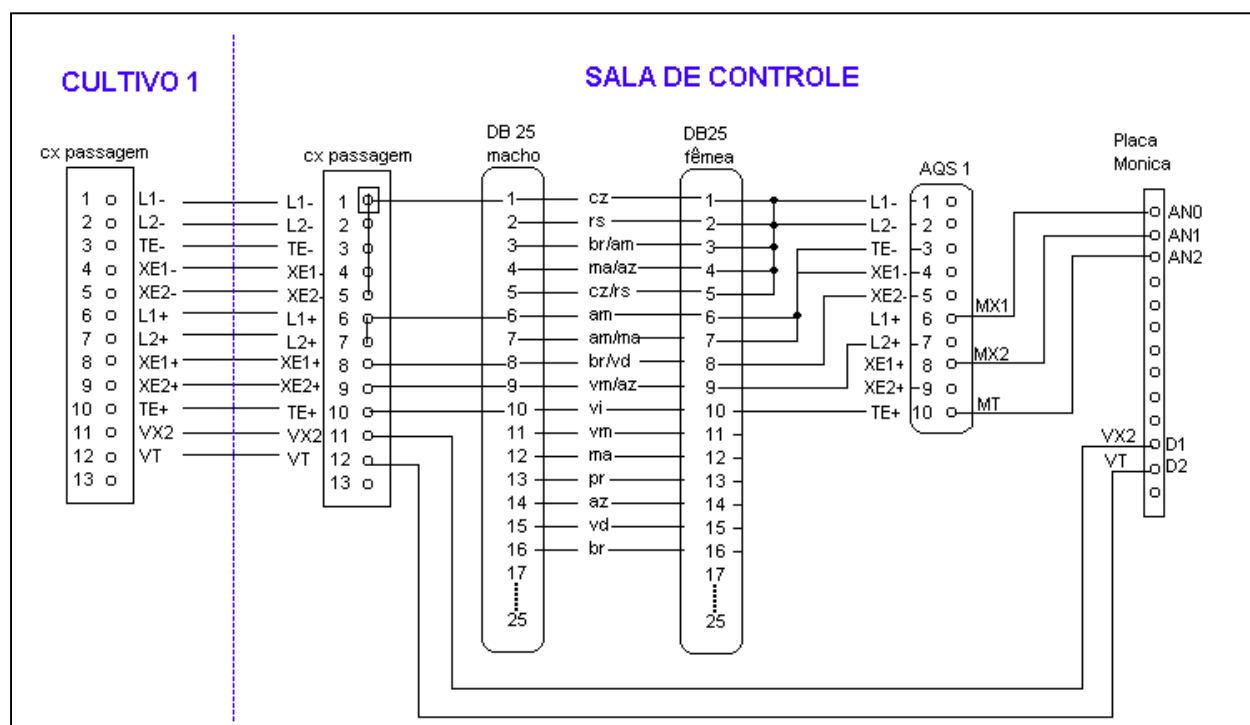


Figura 6.9: Diagrama de ligação elétrica

Legenda:

Borne	Descrição
AN0	Entrada analógica 0
AN1	Entrada analógica 1
AN2	Entrada analógica 2
cx	Caixa



D1	Relé de saída digital 1
D2	Relé de saída digital 2
L1-	negativo led 1
L1+	positivo led 1 (emissor do sensor de concentração)
L2-	negativo led 2
L2+	positivo led 2(emissor do sensor de referência da concentração)
MT	medição do sensor de temperatura
MX1	medição do sensor de referência da concentração
MX2	medição do sensor da concentração
TE	sensor de temperatura
VT	válvula de água fria
VX2	válvula de alimento
XE1	receptor do sensor de referência da concentração
XE1-	negativo sensor de referência da concentração
XE2	receptor do sensor de concentração
XE2-	negativo sensor de concentração

Tabela 6.2 Legenda do diagrama de ligação elétrica

## ***7 – MATERIAIS E MÉTODOS***

### ***7.1 Sala de controle – LCMM***

A figura 7.1.mostra o hardware na sala de controle executando o SSC.



Figura 7.1: PC, placa AQS1, placa Monica e estabilizador

Para a conexão do PC com a *internet* foi utilizada uma conexão da rede local em um HUB com a velocidade de 10/100 MBPS.

## 7.2 Tanque de cultivo automatizado

A figura 7.2 mostra o tanque de maturação com os dispositivos de controle instalados.

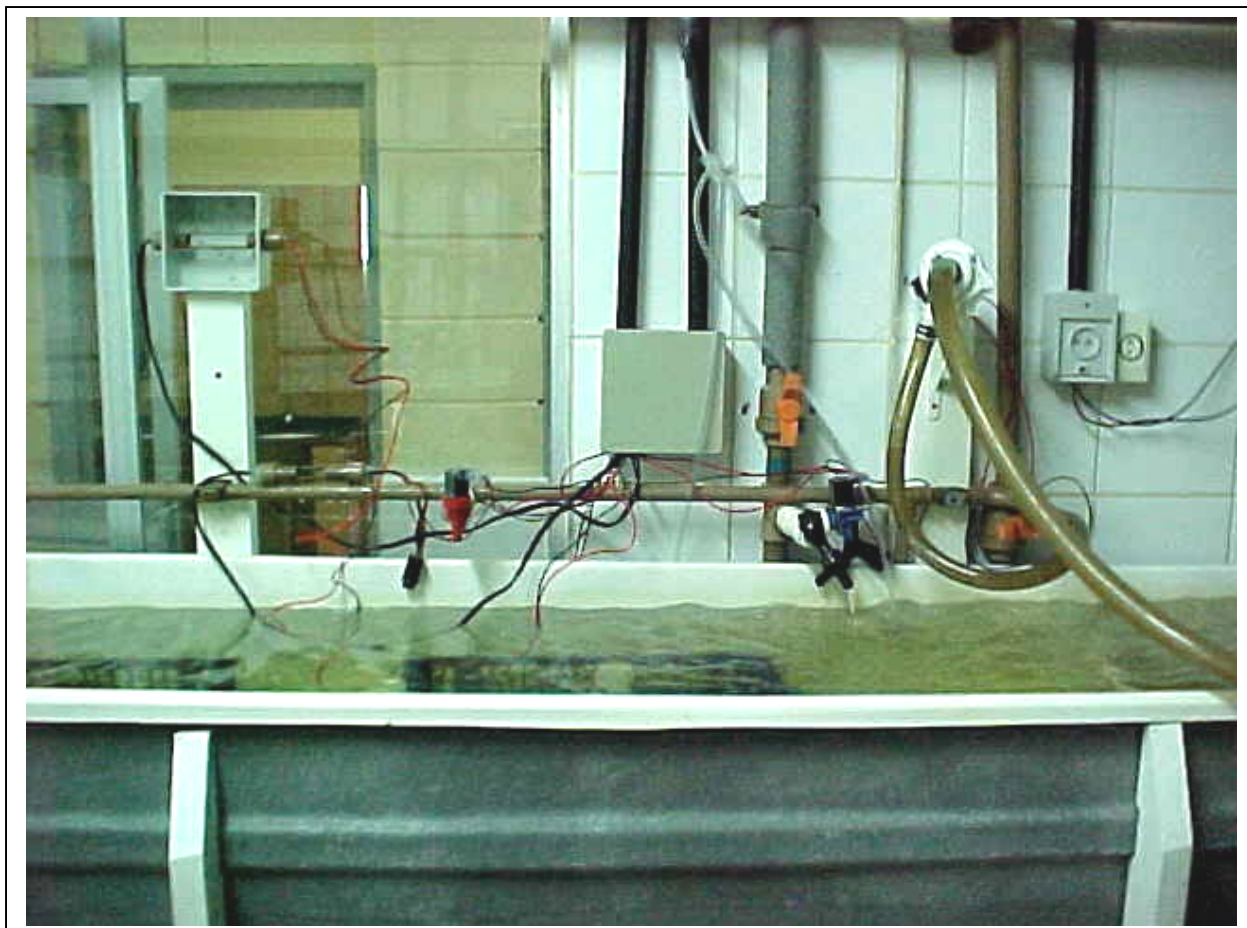


Figura 7.2: Tanque de cultivo automatizado

O tanque de cultivo tem um volume de 500 litros onde é feita a dosagem de alimento e água fria para as ostras depositadas em cestas. Durante os testes utilizou-se 7,5 Kg de ostras (*crassostreas gigas*). Na parte superior da figura 7.2 pode-se notar os dispositivos instalados, da esquerda para a direita, o sensor de concentração, o sensor de temperatura, a válvula de alimento, a caixa de passagem, a válvula de água fria e a bomba centrífuga.

A figura 7.3 mostra o contador de partículas utilizado para calibração da malha fechada de concentração de microalgas.



Figura 7.3: Counter coulter

Durante o procedimento de calibração foi utilizada uma amostragem de 2 ml. É importante repetir os ajustes até que haja uma boa relação entre a leitura do sensor de concentração e o coulter. Após realizada a calibração deve-se fazer uma curva de aferição para analisar a qualidade da resposta do SSC.

## ***8 – RESULTADOS E DISCUSSÕES***

### ***8.1 O modelo matemático***

A linearização feita para o cálculo das funções de transferência não apresentou precisão em determinadas faixas de trabalho. É necessário o desenvolvimento de um modelo com linearizações para as faixas em que o sistema pode operar. Com base nestas equações resultantes será possível efetuar simulações para estimar o valor das variáveis controladas automaticamente. Ainda será possível adicionar ao SSC características de um sistema especialista e sistema de suporte a decisões (DSS). A seguir são apresentados os resultados e uma discussão sobre o modelo matemático.

As variações da concentração e da temperatura são dadas pelas equações:

Equação da concentração de microalgas

$$(1) \quad V \frac{dC_{al}}{dt} = F_{al} C_{ale} - F_{ag} C_{al} - T_x NO$$

Equação da energia térmica

$$(2) \quad V \frac{dT_{ag}}{dt} = F_{al} T_{al} + F_{af} T_{af} - F_{ag} T_{ag}$$

Para a visualização do comportamento destas equações foi implementado um programa utilizando o MATLAB. Trata-se de uma simulação onde ocorrem perturbações no processo de acordo com seguinte ordem:

<i><b>Instante, segundos</b></i>	<i><b>Perturbação</b></i>	<i><b>Descrição</b></i>
0	0	Estado estacionário
10000	Fal=0.3	Diminuição da vazão de alimento de 0.5 l/min p/ 0.3 l/min
20000	Fal=0.5	Aumento da vazão de alimento de 0.3 l/min p/ 0.5 l/min
30000	Faf=0	Diminuição da vazão de água fria de 0.5 l/min p/ 0 l/min
40000	Faf=0.5	Aumento da vazão de água fria de 0 l/min p/ 0.5 l/min

Tabela 8.1: Perturbações causadas no modelo matemático

A seguir é mostrado o programa implementado:

global fal cale fag tx no tal faf taf cal tag v tau k1 k2 k3 k4 k5 k6 k7 k8 k9

```

fal=.5;      %%vazao de alimento (l/min)
cale=80;     %%concentração do alimento na entrada ((cel/ml)X10E4)
tx=20;       %%taxa de consumo de alimento por ostra ((cel/ml)/minX10E4)
no=1;        %%numero de ostras (cte)
tal=18;      %%temperatura do alimento (cte)
faf=.5;      %%vazao de agua fria na entrada (l/min)
fag=(fal+faf); %%vazao de agua na saida (l/min)
taf=14;      %%temperatura da agua fria na entrada (C)
cal=20;      %%concentração de alimento no tanque ((cel/ml)x10E4)
tag=17;      %%temperatura da agua na saida (C)
v=500;       %%volume do tanque (l)

```

```

%%-----
%%simulação das equações diferenciais-
%%-----

```

```

x0=[cal;tag];

```

```
[t,x]=ode45('resolverivada',[0,10000],x0);
fal=.3;
fag=(fal+faf);
x0=x(end,:);
[t1,x1]=ode45('resolverivada',[10000,20000],x0);
t=[t;t1];
x=[x;x1];
```

```
fal=.5;
fag=(fal+faf);
x0=x(end,:);
[t3,x3]=ode45('resolverivada',[20000,30000],x0);
t=[t;t3];
x=[x;x3];
```

```
faf=0;
fag=(fal+faf);
x0=x(end,:);
[t2,x2]=ode45('resolverivada',[30000,40000],x0);
t=[t;t2];
x=[x;x2];
```

```
faf=.5;
fag=(fal+faf);
x0=x(end,:);
[t4,x4]=ode45('resolverivada',[40000,50000],x0);
t=[t;t4];
x=[x;x4];
tag
cal
```

```

%%-----
%%calculo dos parametros das FT's-
%%-----

%%calculo dos ganhos da FT de concentraçao
tau=v/fag;

%%calculo dos ganhos da FT de concentraçao
k1=cale/fag;
k2=fal/fag;
k3=cal/fag;
k4=tx/fag;

%%calculo dos ganhos da FT de temperatura
k5=tal/fag;
k6=fal/fag;
k7=taf/fag;
k8=faf/fag;
k9=tag/fag;

function dx=resolverderivada(t,x)

global fal cale fag tx no tal faf taf cal tag v

cal=x(1);
tag=x(2);

dcal=(fal*cale-fag*cal-tx)/v;
dtag=(fal*tal+faf*taf-fag*tag)/v;

dx=[dcal;dtag];

```



O resultado da simulação é plotado no gráfico a seguir:

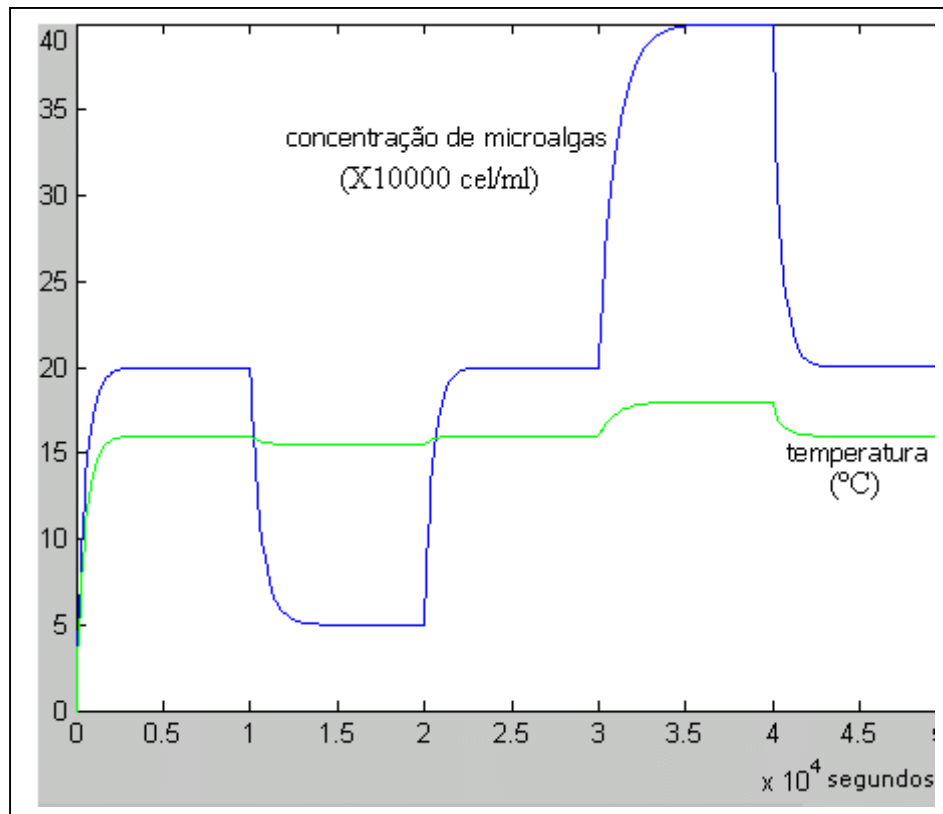


Figura 8.1: Simulação com as equações diferenciais

Observe que a temperatura no final da simulação atinge o estado estacionário em 16°C e a concentração de microalgas atinge o valor de 20 X 10<sup>4</sup> cel/ml.

As funções de transferência obtidas pela modelagem matemática através das equações diferenciais são mostradas abaixo:

Função de transferência para a concentração de microalgas,

$$(3) \quad \tilde{C}_{al}(s) = G_1 \tilde{F}_{al}(s) + G_2 \tilde{C}_{ale}(s) - G_3 \tilde{F}_{ag}(s) - G_4 \tilde{NO}(s)$$

Função de transferência para a temperatura,

$$(4) \quad \tilde{T}_{ag}(s) = G_5 \tilde{F}_{al}(s) + G_6 \tilde{T}_{al}(s) + G_7 \tilde{F}_{af}(s) + G_8 \tilde{T}_{af}(s) - G_9 \tilde{F}_{ag}(s)$$

Para a simulação destas equações foi implementado um diagrama do SIMULINK/MATLAB. Este diagrama é mostrado a seguir:

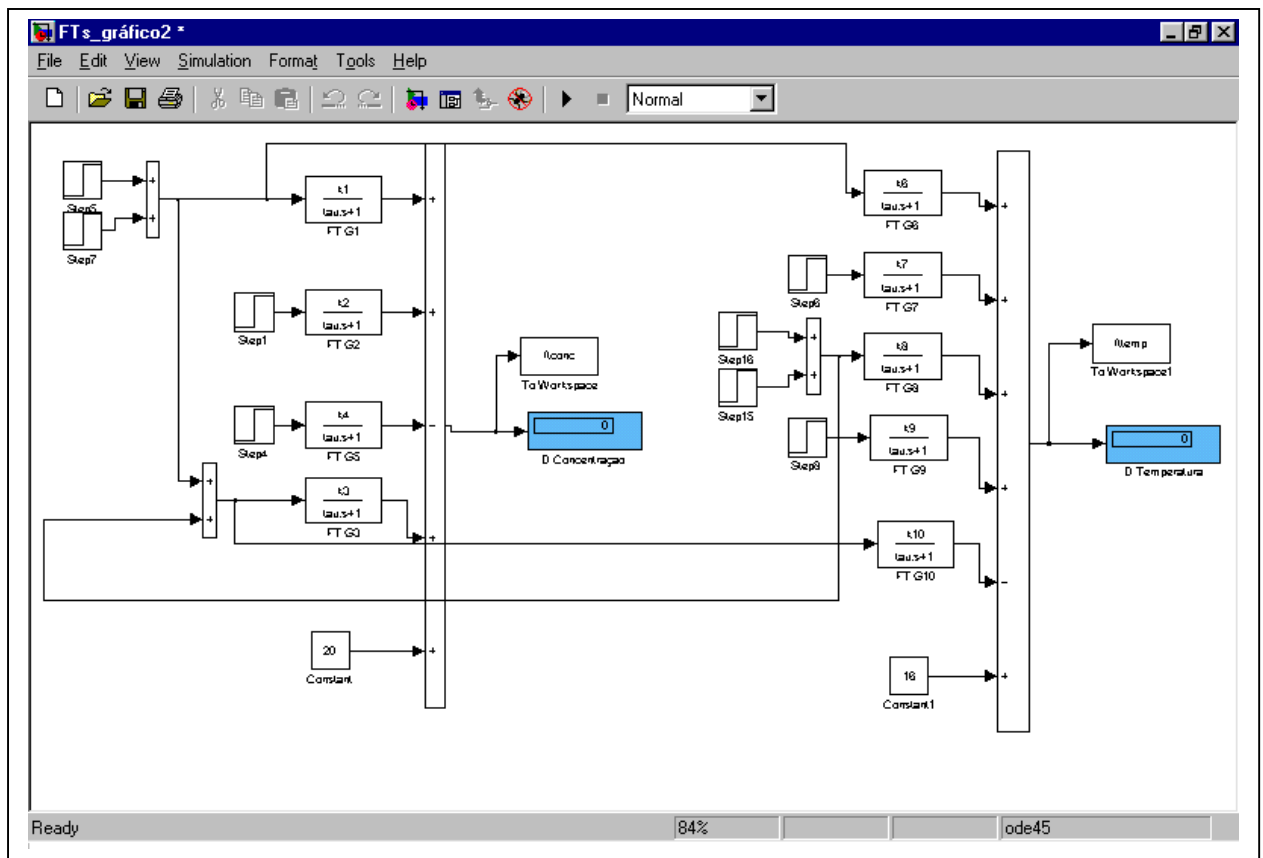


Figura 8.2: Diagrama de simulação das funções de transferência

Com este diagrama foi feita uma simulação com as mesmas perturbações do programa de simulação das equações diferenciais. Segue o gráfico com os resultados:

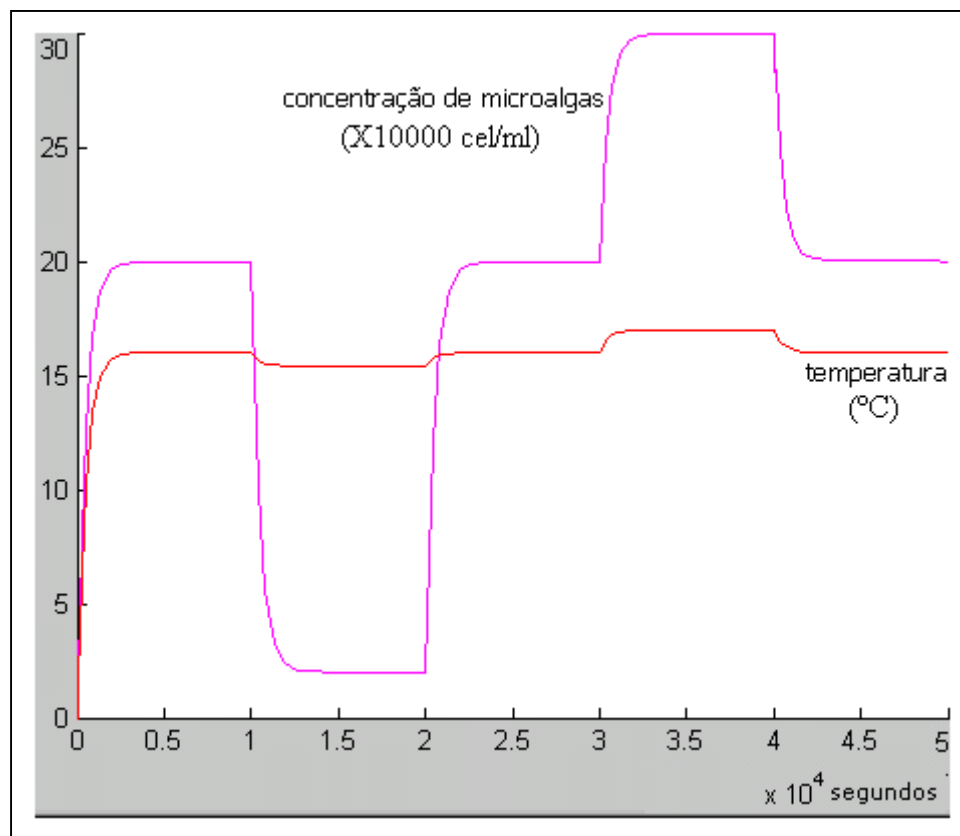


Figura 8.3 Simulação com as funções de transferência

Conforme a primeira simulação, a temperatura no final da simulação atinge o estado estacionário em 16°C e a concentração de microalgas atinge o valor de  $20 \times 10^4$  cel/ml.

Sobrepondo as duas simulações obtemos o seguinte gráfico:

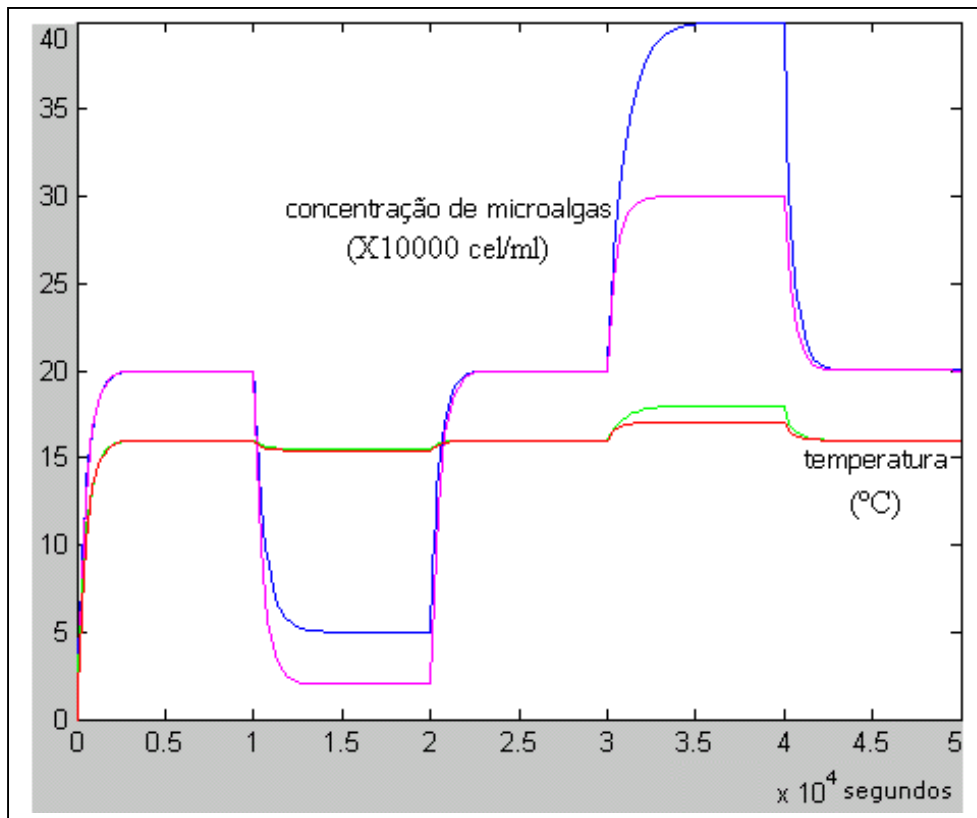


Figura 8.4: Simulação com as equações diferenciais e as FT's

O gráfico mostra que em determinadas regiões de operação as funções de transferência apresentam imprecisões quando comparadas com a simulação das equações diferenciais.

## 8.2 O Sistema de Supervisão e Controle

Os teste mostrado a seguir tem o objetivo de mostrar a imunidade do SSC a ruídos elétricos. Após atingir o estado estacionário com a concentração de microalgas em  $14 \times 10^4$  cel/ml e a temperatura em  $21^\circ\text{C}$  foram mantidas a vazão de alimento e água fria. Os dados obtidos para uma simulação de 3 horas são mostrados no gráfico da figura 8.5

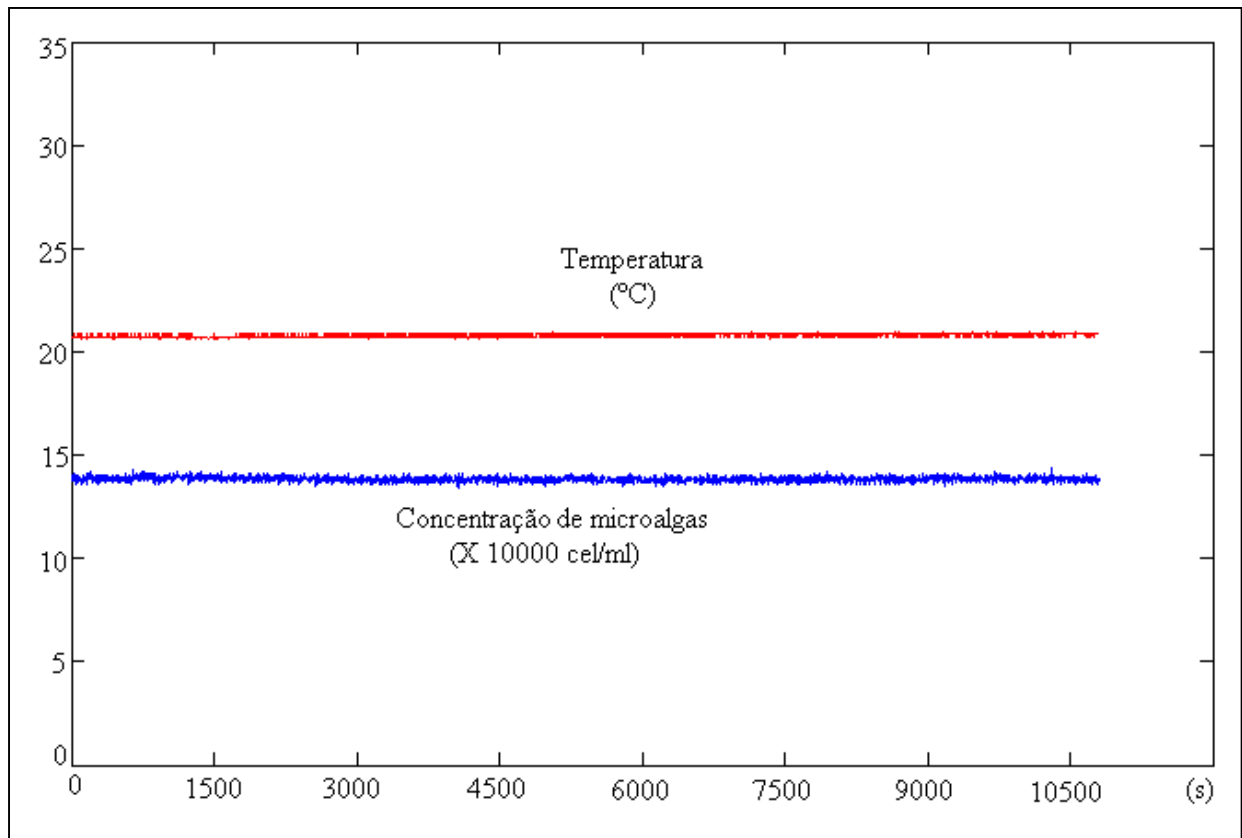


Figura 8.5: Verificação de ruídos elétricos

O gráfico mostra que durante o período de aquisição não houve a interferência de ruídos elétricos provenientes da rede elétrica e do acionamento das bombas trifásicas do LCMM.

Depois de calibrado o sistema para uma faixa de trabalho de  $0-30 \times 10^4$  cel/ml foi feita a curva de consumo de microalgas para dois conjuntos de dados, a primeira curva foi feita com dados lidos pelo SSC e a segunda com dados provenientes da contagem de amostras com o Counter-Coulter. A curva de temperatura do SSC é comparada com uma curva com dados obtidos da leitura de um termômetro manual. A simulação do SSC, a contagem das amostras e a leitura do termômetro manual foram realizadas durante o período de aproximadamente 1 hora, o gráfico da figura 8.6 mostra os resultados.

<i>Instante, s</i>	<i>Concentração (SSC), <math>\times 10^4</math> cel/ml</i>	<i>Concentração (Counter coulter), <math>\times 10^4</math> cel/ml</i>	<i>Temperatura (SSC), °C</i>	<i>Temperatura (Termômetro manual), °C</i>
0	29.6	29.2	22.0	22.0
600	26.1	25.5	22.6	21.5
1200	22.5	22.7	21.5	21.5
1800	20.7	20.4	21.2	21.0
2580	17.1	17.5	21.2	21.0
3360	15.3	15.5	21.1	21.0

Tabela 8.2: Curva de consumo de microalgas e temperatura

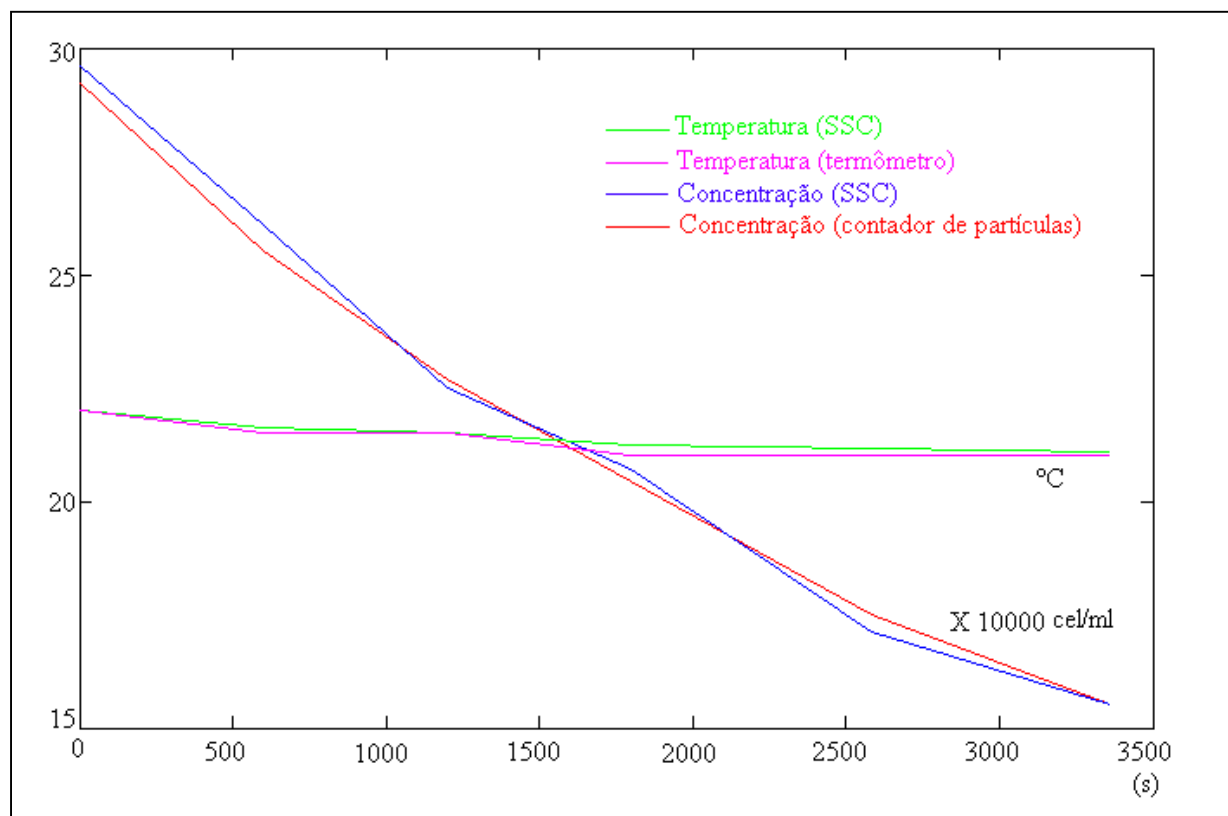


Figura 8.6: Curvas de consumo de microalgas 1

O gráfico mostra uma boa relação entre a leitura realizada pelo SSC, o contador de partículas e o termômetro manual.

Com base na figura 8.6 podemos calcular  $T_x$  (taxa de consumo de microalgas).

$$(1) \quad V \frac{dC_{al}}{dt} = F_{al} C_{ale} - F_{ag} C_{al} - T_x NO$$

No teste de consumo de microalgas  $F_{al}=0$ ,  $F_{af}=0$  e portanto  $F_{ag}=0$ , deste modo:

$$V \frac{dC_{al}}{dt} = 0 + 0 - T_x NO$$

$$V \frac{dC_{al}}{dt} = -T_x NO$$

O sinal negativo indica que a concentração decresce com o tempo.

$$\frac{dC_{al}}{dt} = -\frac{T_x NO}{V}$$

$$Tx = -\frac{dC_{al}}{dt} X \frac{V}{NO} \quad (a)$$

$$\frac{dC_{al}}{dt} = tg\alpha$$

onde  $\alpha$  é a inclinação da curva de concentração;

Para o eixo Y do gráfico dado em  $X 10^4$  cel/ml,  
e o eixo X dado em segundos temos :

$$CO = C_{al} \cong 15 \times 10^4 \text{ cel/ml}$$

$$CA = t = 3360s$$

$$tg\alpha = \frac{C_{al}}{t}$$

$$tg\alpha = \frac{15}{3360}$$

$$tg\alpha = \frac{dC_{al}}{dt} = 0,004464285714$$

$$\alpha = 0,255783^\circ$$

para um volume da calha =  $500 \times 10^3$  ml e NO = 7,5 Kg,

$$a) \quad T_x = -\frac{dC_{al}}{dt} \times \frac{V}{NO}$$

$$T_x = -0,004464285714 \times \frac{500 \times 10^3}{1}$$

$$T_x = -2232,142857 \times 10^4 \text{ cel/s para } 7,5 \text{ Kg ostras}$$

Comprovando a solução para  $T_x$  :

$$T_x = \frac{(C_{al} - C_{al0}) \times 500 \times 10^3}{t}$$

$$T_x = \frac{(15 \times 10^4 - 30 \times 10^4) \times 500 \times 10^3}{3360}$$

$$T_x = -2232,142857 \times 10^4 \text{ cel/s para } 7,5 \text{ Kg ostras}$$

Com valores reais utilizados no teste de consumo e o  $T_x$  calculado foi feita uma simulação com a equação diferencial da concentração com o seguinte programa:

global fal cale fag tx no tal faf taf cal tag v tau k1 k2 k3 k4 k5 k6 k7 k8 k9

fal=0;      %%vazao de alimento (l/min)

cale=80;      %%concentração do alimento na entrada ((cel/ml)x10E4)



```

tx=2232.42857;      %%taxa de consumo de alimento ((cel/ml)/minX10E4) (calculado)
no=1;              %%taxa de consumo de alimento ((cel/ml)/minX10E4)
tal=18;            %%temperatura do alimento (cte)
faf=0;             %%vazao de agua fria na entrada (l/min)
fag=(fal+faf);     %%vazao de agua na saida (l/min)
taf=14;            %%temperatura da agua fria na entrada (C)
cal=29.6;          %%concentração de alimento no tanque ((cel/ml)X10E4)
tag=19;            %%temperatura da agua na saida (C)
v=500000;          %%volume do tanque (ml)

```

```

%%-----
%%simulação da equação diferencial-
%%-----

```

```

x0=[cal;tag];
[t,x]=ode45('resolverderivada',[0,3360],x0);

```

```

tag
cal

```

```

t2=[0 600 1200 1800 2580 3360];
ssc=[29.6 26.1 22.5 20.7 17.1 15.3];
contador=[29.2 25.5 22.7 20.4 17.5 15.5];
plot(t,x(:,1),'b');
hold;
plot(t2,ssc,'m');
plot(t2,contador,'r');

```

```

function dx=resolverderivada(t,x)

global fal cale fag tx no tal faf taf cal tag v

cal=x(1);
tag=x(2);

dcal=(fal*cale-fag*cal-tx)/v;
dtag=(fal*tal+faf*taf-fag*tag)/v;

dx=[dcal;dtag];

```

A Figura 8.7 mostra o resultado desta comparação.

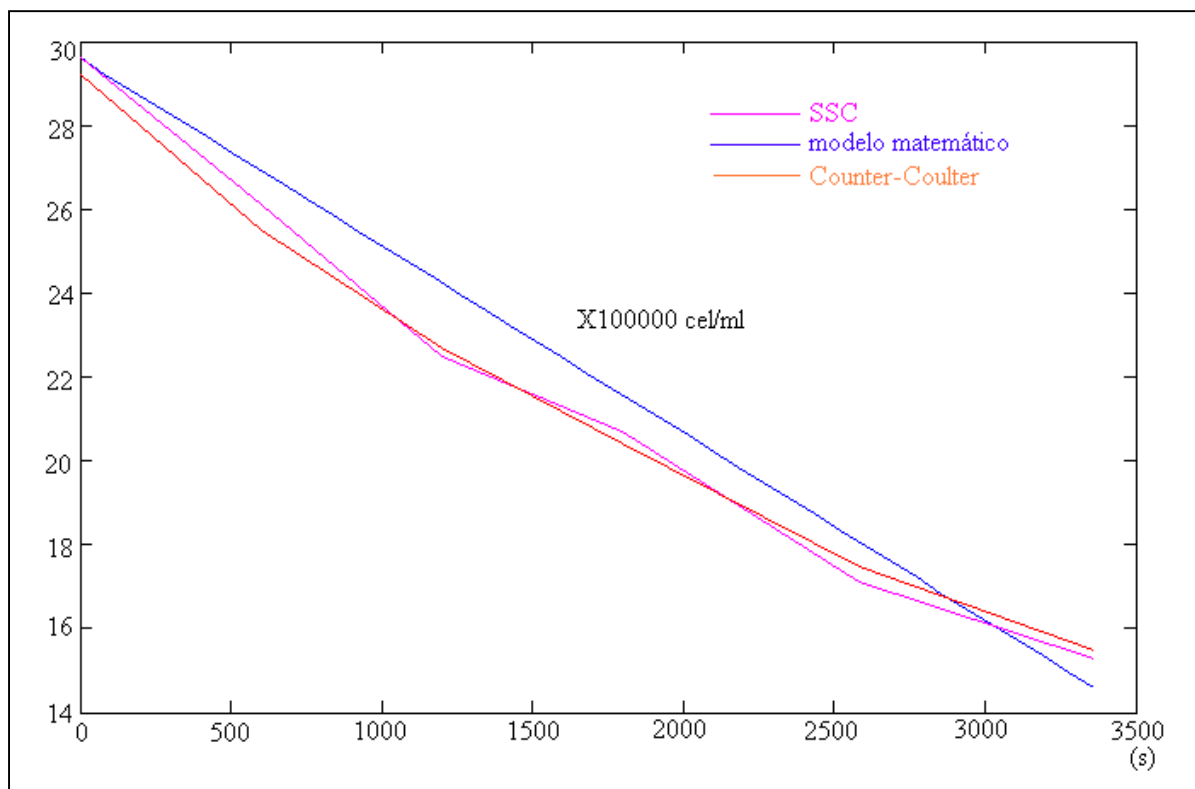


Figura 8.7: Curvas de consumo de microalgas 2

Para a faixa utilizada no teste ( $15\text{-}30 \text{ cel/ml} \times 10^4$ ) o modelo matemático apresentou uma boa relação com a curva de consumo.

## ***9 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES***

### ***9.1. Conclusões***

1. O software MATLAB apresentou versatilidade para implementação do SSC. O ambiente SIMULINK facilita a construção do diagrama de controle através da interligação e configuração dos componentes da biblioteca. Além dos componentes disponíveis no SIMULINK foi utilizada a biblioteca da placa monica. Os componentes desta biblioteca também apresentaram simplicidade para interligação com os componentes da biblioteca principal.
2. O diagrama de controle apresentou facilidade de operação. Ainda que sejam implementadas novas funções é possível fazer o encapsulamento dos componentes através da criação dos subsistemas o que simplifica a visualização.
3. A fonte de tensão da placa monica tem potência disponível para alimentar outros circuitos eletrônicos até a potência aparente de 1000 VA. Apesar do módulo ter potência disponível as tensões 12 Vcc, -12 Vcc, 5 Vcc e -5 Vcc não puderam ser utilizadas para alimentar o circuito de aquisição. O acionamento dos relés das saídas de potência causa queda no nível destas tensões. O circuito de aquisição necessita de tensão constante na entrada de modo a não interferir na medição das variáveis de processo. Para solucionar este problema foi implementada a fonte de alimentação apresentada neste projeto.
4. A utilização de eletrodutos separados para passagem dos cabos de força e cabos de sinal entre a sala de controle e o cultivo evitou a interferência de ruídos elétricos provenientes dos acionamentos das válvulas solenóides e da bomba centrífuga.

5. Os filtros implementados na placa de aquisição AQS1 auxiliados pelo filtro de linha e o estabilizador também foram eficientes na filtragem dos ruídos elétricos provenientes do acionamento das bombas trifásicas do processo e da rede elétrica.
6. O modelo matemático mostra que a linearização das equações da concentração e da temperatura não é uma abordagem adequada para grandes variações das variáveis de interesse. Para obter uma aproximação melhor será necessária uma linearização para cada faixa de trabalho das variáveis, levando em consideração as condições que podem ocorrer no cultivo.
7. Os dados de temperatura e concentração de microalgas lidas pelo SSC apresentaram uma boa relação quando comparados com o contador de partículas e o termômetro manual.
8. A Linguagem de Modelagem Unificada (UML) mostrou-se adequada para representação de sistemas de controle.

## ***9.2. Recomendações***

1. Implementar o sensor de concentração o fototransistor TIL78 e averiguar a eficiência.
2. Utilizar o comando GUI (*guide user interface*) do MATLAB para construção de uma interface com o usuário.
3. Implementar um controlador microcontrolado que utilize o protocolo de comunicação MODBUS.
4. Expandir o sistema de controle através de uma rede de comunicação serial utilizando controladores microcontrolados com protocolo MODBUS.

5. Construir um módulo de expansão para a placa Monica de modo a disponibilizar mais entradas e saídas para ampliação do SSC.
6. Construir algoritmos de controle utilizando técnicas de inteligência artificial (raciocínio baseado em casos (RBC), redes neurais,...). Estes algoritmos poderão ser implementados no microcontrolador do controlador.
7. Analisar a possibilidade da expansão do sistema englobar outras variáveis do processo (pH, nível, vazão, oxigênio dissolvido, nitrogênio dissolvido,...).
8. De modo a aumentar a confiabilidade do sistema será necessária a instalação de um *no-break* para o computador de modo a suprir possíveis quedas de tensão da rede elétrica.
9. Para obter uma melhor distribuição do alimento e da água fria no tanque de cultivo pode-se construir um sistema de distribuição utilizando tubos de PVC com um número de saídas adequado para o tanque. A dosagem pode-ser feita com o acionamento de uma bomba centrífuga e uma válvula solenóide para cada linha de processo.
10. Implementar um sistema de amostragem de acordo com a figura abaixo:

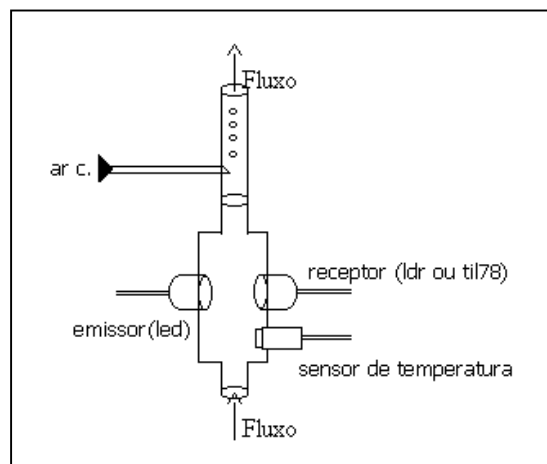


Figura 9.1: Modelo de sistema de amostragem

## ***10 – APÊNDICES***

### ***10.1 Material elétrico***

Quantidade	Unidade	Descrição
20	m	Cabo flexível 1mm <sup>2</sup>
80	m	Cabo paralelo 1mm <sup>2</sup>
3	cx	Caixa de passagem 15x15 cm
3	un	Chave bóia
3	un	Borneira sindal 12 entradas
40	m	Eletroduto ¾"
1	un	Filtro de linha 4 saídas

Tabela 10.1 Material elétrico

### ***10.2 Material eletrônico***

Quantidade	Unidade	Descrição
1	un	Placa de fenolite 10X10 cm
1	un	Transf. :entrada 220 Vac, saída 24+24 Vac
2	un	Diodo 1N4007
1	un	Fusível de vidro 10mm 1A
1	un	Porta fusível
1	un	Chave liga/desliga
1	un	C1: Capacitor 2200 µF

4	un	C2, C3, C4, C5: Capacitor 1 $\mu$ F
1	un	R1: Resistor 680 $\Omega$ / $\frac{1}{2}$ W
1	un	R2, R8: Resistor 3K3 $\Omega$ / $\frac{1}{2}$ W
1	un	R3: Resistor 1 K $\Omega$ / 3W
2	un	R4, R6: Resistor 470K $\Omega$ / $\frac{1}{2}$ W
3	un	R5, R7, R9: Resistor 470 $\Omega$ / $\frac{1}{2}$ W
1	un	Potenciômetro multivoltas 20K $\Omega$
1	un	Transistor TIP3055
1	un	L1: Led 3mm
1	un	Diodo zenner 24V
3	un	Diodo zenner 6V1
1	un	Conector DB25 Macho
1	un	Conector DB25 Fêmea

Tabela 10.2 Material eletrônico

### ***10.3 Material hidráulico***

Quantidade	Unidade	Descrição
15	m	Cano PVC 10mm
10	un	Cape 10mm
4	un	Válvula manual
1	un	Bomba centrífuga descarga máq. Lavar roupa
2	un	Válvula solenóide máq. Lavar roupa

Tabela 10.3 Material hidráulico

### ***10.4 Material químico***

Quantidade	Unidade	Descrição
400	g	Percloroeto férrico
100	g	Estanho para soldagem
200	ml	Resina de acrílica
20	ml	Catalisador p/ resina acrílica

Tabela 10.4 Material químico

### ***10.5 Material de informática***

Quantidade	Unidade	Descrição
1	un	Computador Pentium 166 MHz: HD 40 Gbytes, 64 Mbytes Ram, drive 3½”, monitor 14”, CD Rom 16X, teclado 101 teclas, mouse, estabilizador 1000 VA, placa de rede 10/100 MBPS e placa de vídeo Diamond stealth.

Tabela 10.5 Material de informática

### ***10.6 Procedimento para calibração da malha de concentração de microalgas***

- 1- Ligar o filtro de linha;
- 2- Ligar o computador;
- 3- Ligar a Placa Monica;
- 4- Ligar a Placa AQS1;
- 5- Executar o software de controle;
- 6- Posicionar o sensor de referência para concentração de microalgas;
- 7- Posicionar o sensor de concentração de microalgas;



- 8- Fazer a medição com água limpa;
- 9- Ajustar a intensidade dos LED's através do potenciômetro P1 (placa AQS1);
- 10- Ajustar a constante de zero no diagrama do SSC;
- 11- Fazer 5 ou 6 medições intermediárias até  $100 \times 10^4$  cel/ml (para cada medição marcar a tensão (volts) indicada no display do SSC);
- 12- Calcular o coeficiente de calibração;
- 13- Inserir o coeficiente de calibração calculado na constante de Span do SSC.

### ***10.7 Procedimento para calibração da malha de temperatura***

1. Ligar o filtro de linha;
2. Ligar o computador;
3. Ligar a Placa Monica;
4. Ligar a Placa AQS1;
5. Executar o software de controle;
6. Posicionar o sensor de temperatura;
7. Ajustar a constante de zero no diagrama do SSC;
8. Medir a temperatura com termômetro manual;
9. Calcular o coeficiente de calibração;
10. Inserir o coeficiente de calibração calculado na constante de Span do SSC.

## 10.8 Modelagem matemática do processo

Balanço global de massa

$$F_{ag} = F_{af} + F_{al}$$

Equação da concentração de microalgas

$$(1) \quad V \frac{dC_{al}}{dt} = F_{al} C_{ale} - F_{ag} C_{al} - T_x NO$$

Equação da energia térmica

$$(2) \quad V \frac{dT_{ag}}{dt} = F_{al} T_{al} + F_{af} T_{af} - F_{ag} T_{ag}$$

Linearizan do (1) por Taylor

$$F_{al} C_{ale} = F_{al} C_{ale} \Big|_{F_{al0} C_{ale0}} + C_{ale} \Big|_{C_{ale0}} (F_{al} - F_{al0}) + F_{al} \Big|_{F_{al0}} (C_{ale} - C_{ale0})$$

$$F_{ag} C_{al} = F_{ag} C_{al} \Big|_{F_{ag0} C_{al0}} - C_{al} \Big|_{C_{al0}} (F_{ag} - F_{ag0}) - F_{ag} \Big|_{F_{ag0}} (C_{al} - C_{al0})$$

$$V \frac{dC_{al}}{dt} = F_{al0} C_{ale0} + C_{ale0} (F_{al} - F_{al0}) + F_{al0} (C_{ale} - C_{ale0}) -$$

$$F_{ag0} C_{al0} - C_{al0} (F_{ag} - F_{ag0}) - F_{ag0} (C_{al} - C_{al0})$$

No estado estacionário

$$0 = V \frac{dC_{al}}{dt} \bigg|_{F_{al0} C_{ale0}} = F_{al0} C_{ale0} + C_{ale0} (F_{al0} - F_{al0}) + F_{al0} (C_{ale0} - C_{ale0}) -$$

$$F_{ag0} C_{al0} - C_{al0} (F_{ag0} - F_{ag0}) - F_{ag0} (C_{al0} - C_{al0})$$

$$V \frac{dC_{al}}{dt} \bigg|_{F_{al0} C_{ale0}} = F_{al0} C_{ale0} - F_{ag0} C_{al0}$$

Substituindo as variáveis

$$\tilde{F}_{al} = (F_{al} - F_{al0})$$

$$\tilde{F}_{ag} = (F_{ag} - F_{ag0})$$

$$\tilde{C}_{al} = (C_{al} - C_{al0})$$

$$\tilde{C}_{ale} = (C_{ale} - C_{ale0})$$

$$\tilde{NO} = (NO - NO_0)$$

$$V \frac{d\tilde{C}_{al}}{dt} = C_{ale0} \tilde{F}_{al} + F_{al0} \tilde{C}_{ale} - C_{al0} \tilde{F}_{ag} - F_{ag0} \tilde{C}_{al} - Tx \tilde{NO}$$

Aplicando a Transformada de Laplace

$$V_s \tilde{C}_{al}(s) = C_{ale0} \tilde{F}_{al}(s) + F_{al0} \tilde{C}_{ale}(s) - C_{al0} \tilde{F}_{ag}(s) - F_{ag0} \tilde{C}_{al}(s) - Tx \tilde{NO}(s)$$

$$F_{ag0} \tilde{C}_{al}(s) + V_s \tilde{C}_{al}(s) = C_{ale0} \tilde{F}_{al}(s) + F_{al0} \tilde{C}_{ale}(s) - C_{al0} \tilde{F}_{ag}(s) - Tx \tilde{NO}(s)$$

$$(F_{ag0} + V_s) \tilde{C}_{al}(s) = C_{ale0} \tilde{F}_{al}(s) + F_{al0} \tilde{C}_{ale}(s) - C_{al0} \tilde{F}_{ag}(s) - Tx \tilde{NO}(s)$$

$$\tilde{C}_{al}(s) = \frac{C_{ale0}}{F_{ag0} + V_s} \tilde{F}_{al}(s) + \frac{F_{al0}}{F_{ag0} + V_s} \tilde{C}_{ale}(s) - \frac{C_{al0}}{F_{ag0} + V_s} \tilde{F}_{ag}(s) - \frac{Tx}{F_{ag0} + V_s} \tilde{NO}(s)$$

para

$$G_1 = \frac{C_{ale0}}{F_{ag0} + V_s}$$

$$G_1 = \frac{\frac{C_{ale0}}{F_{ag0}}}{V_s + F_{ag0}}$$

$$G_1 = \frac{\frac{C_{ale0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_s}{F_{ag0}} + 1} ; \quad k1 = \frac{C_{ale0}}{F_{ag0}} ; \quad \tau = \frac{V}{F_{ag0}} ; \quad G_1 = \frac{k1}{\tau s + 1}$$

para

$$G_2 = \frac{F_{al0}}{V_S + F_{ag0}}$$

$$G_2 = \frac{\frac{F_{al0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S + F_{ag0}}{F_{ag0}}}$$

$$G_2 = \frac{\frac{F_{al0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S}{F_{ag0}} + 1} ; \quad k2 = \frac{F_{al0}}{F_{ag0}} ; \quad \tau = \frac{V}{F_{ag0}} ; \quad G_2 = \frac{k2}{\tau s + 1}$$

para

$$G_3 = \frac{C_{al0}}{F_{ag0} + V_S}$$

$$G_3 = \frac{\frac{C_{al0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S + F_{ag0}}{F_{ag0}}}$$

$$G_3 = \frac{\frac{C_{al0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S}{F_{ag0}} + 1} ; \quad k3 = \frac{C_{al0}}{F_{ag0}} ; \quad \tau = \frac{V}{F_{ag0}} ; \quad G_3 = \frac{k3}{\tau s + 1}$$

para

$$G_4 = \frac{Tx}{V_S + F_{ag0}}$$

$$G_4 = \frac{\frac{Tx}{F_{ag0}}}{V_S + F_{ag0}}$$

$$G_4 = \frac{\frac{Tx}{F_{ag0}}}{\frac{V_S}{F_{ag0}} + 1} \quad ; \quad k4 = \frac{Tx}{F_{ag0}} \quad ; \quad \tau = \frac{V}{F_{ag0}} \quad ; \quad G_4 = \frac{k4}{\tau s + 1}$$

a Função de transferência para a concentração de microalgas é dada por,

$$(3) \quad \tilde{C}_{al}(s) = G_1 \tilde{F}_{al}(s) + G_2 \tilde{C}_{ale}(s) - G_3 \tilde{F}_{ag}(s) - G_4 \tilde{NO}(s)$$

Linearizando (2) por Taylor

$$\begin{aligned}
 F_{al}T_{al} &= F_{al}T_{al} \Big|_{F_{al0}T_{al0}} + T_{al} \Big|_{T_{al0}} (F_{al} - F_{al0}) + F_{al} \Big|_{F_{al0}} (T_{al} - T_{al0}) \\
 F_{af}T_{af} &= F_{af}T_{af} \Big|_{F_{af0}T_{af0}} + T_{af} \Big|_{T_{af0}} (F_{af} - F_{af0}) + F_{af} \Big|_{F_{af0}} (T_{af} - T_{af0}) \\
 F_{ag}T_{ag} &= F_{ag}T_{ag} \Big|_{F_{ag0}T_{ag0}} - T_{ag} \Big|_{T_{ag0}} (F_{ag} - F_{ag0}) - F_{ag} \Big|_{F_{ag0}} (T_{ag} - T_{ag0})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V \frac{dT_{ag}}{dt} &= F_{al0}T_{al0} + T_{al0}(F_{al} - F_{al0}) + F_{al0}(T_{al} - T_{al0}) + \\
 &+ F_{af0}T_{af0} + T_{af0}(F_{af} - F_{af0}) + F_{af0}(T_{af} - T_{af0}) - \\
 &F_{ag0}T_{ag0} - T_{ag0}(F_{ag} - F_{ag0}) - F_{ag0}(T_{ag} - T_{ag0})
 \end{aligned}$$

No estado estacionário

$$\begin{aligned}
 0 &= V \frac{dT_{ag}}{dt} \Big|_{F_{al0}T_{al0}} = F_{al0}T_{al0} + T_{al0}(F_{al0} - F_{al0}) + F_{al0}(T_{al0} - T_{al0}) + \\
 &+ F_{af0}T_{af0} + T_{af0}(F_{af0} - F_{af0}) + F_{af0}(T_{af0} - T_{af0}) - \\
 &F_{ag0}T_{ag0} - T_{ag0}(F_{ag0} - F_{ag0}) - F_{ag0}(T_{ag0} - T_{ag0}) \\
 V \frac{dT_{ag}}{dt} \Big|_{F_{al0}T_{al0}} &= F_{al0}T_{al0} + F_{af0}T_{af0} - F_{ag0}T_{ag0}
 \end{aligned}$$

Substituindo as variáveis desvio

$$\tilde{T}_{al} = T_{al} - T_{al0}$$

$$\tilde{T}_{af} = T_{af} - T_{af0}$$

$$\tilde{T}_{ag} = T_{ag} - T_{ag0}$$

$$\tilde{F}_{al} = F_{al} - F_{al0}$$

$$\tilde{F}_{af} = F_{af} - F_{af0}$$

$$\tilde{F}_{ag} = F_{ag} - F_{ag0}$$

$$V \frac{d\tilde{T}_{ag}}{dt} = T_{al0} \tilde{F}_{al} + F_{al0} \tilde{T}_{al} + T_{af0} \tilde{F}_{af} + F_{af0} \tilde{T}_{af} - T_{ag0} \tilde{F}_{ag} - F_{ag0} \tilde{T}_{ag}$$

Aplicando a Transformada de Laplace

$$Vs \tilde{T}_{ag}(s) = T_{al0} \tilde{F}_{al}(s) + F_{al0} \tilde{T}_{al}(s) + T_{af0} \tilde{F}_{af}(s) + \\ F_{af0} \tilde{T}_{af}(s) - T_{ag0} \tilde{F}_{ag}(s) - F_{ag0} \tilde{T}_{ag}(s)$$

$$F_{ag0} \tilde{T}_{ag}(s) + Vs \tilde{T}_{ag}(s) = T_{al0} \tilde{F}_{al}(s) + F_{al0} \tilde{T}_{al}(s) + T_{af0} \tilde{F}_{af}(s) + \\ F_{af0} \tilde{T}_{af}(s) - T_{ag0} \tilde{F}_{ag}(s)$$

$$(Vs + F_{ag0}) \tilde{T}_{ag}(s) = T_{al0} \tilde{F}_{al}(s) + F_{al0} \tilde{T}_{al}(s) + T_{af0} \tilde{F}_{af}(s) + \\ F_{af0} \tilde{T}_{af}(s) - T_{ag0} \tilde{F}_{ag}(s)$$

$$\tilde{T}_{ag}(s) = \frac{T_{al0}}{Vs + F_{ag0}} \tilde{F}_{al}(s) + \frac{F_{al0}}{Vs + F_{ag0}} \tilde{T}_{al}(s) + \frac{T_{af0}}{Vs + F_{ag0}} \tilde{F}_{af}(s) + \\ \frac{F_{af0}}{Vs + F_{ag0}} \tilde{T}_{af}(s) - \frac{T_{ag0}}{Vs + F_{ag0}} \tilde{F}_{ag}(s)$$



para

$$G_5 = \frac{T_{al0}}{V_S + F_{ag0}}$$

$$G_5 = \frac{\frac{T_{al0}}{F_{ag0}}}{V_S + F_{ag0}}$$

$$G_5 = \frac{\frac{T_{al0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S}{F_{ag0}} + 1} ; \quad k5 = \frac{T_{al0}}{F_{ag0}} ; \quad \tau = \frac{V}{F_{ag0}} ; \quad G_5 = \frac{k5}{\tau s + 1}$$

para

$$G_6 = \frac{F_{al0}}{V_S + F_{ag0}}$$

$$G_6 = \frac{\frac{F_{al0}}{F_{ag0}}}{V_S + F_{ag0}}$$

$$G_6 = \frac{\frac{F_{al0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S}{F_{ag0}} + 1} ; \quad k6 = \frac{F_{al0}}{F_{ag0}} ; \quad \tau = \frac{V}{F_{ag0}} ; \quad G_6 = \frac{k6}{\tau s + 1}$$

para

$$G_7 = \frac{T_{af0}}{V_S + F_{ag0}}$$

$$G_7 = \frac{\frac{T_{af0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S + F_{ag0}}{F_{ag0}}}$$

$$G_7 = \frac{\frac{T_{af0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S}{F_{ag0}} + 1} ; \quad k7 = \frac{T_{af0}}{F_{ag0}} ; \quad \tau = \frac{V}{F_{ag0}} ; \quad G_7 = \frac{k7}{\tau S + 1}$$

para

$$G_8 = \frac{F_{af0}}{V_S + F_{ag0}}$$

$$G_8 = \frac{\frac{F_{af0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S + F_{ag0}}{F_{ag0}}}$$

$$G_8 = \frac{\frac{F_{af0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S}{F_{ag0}} + 1} ; \quad k8 = \frac{F_{af0}}{F_{ag0}} ; \quad \tau = \frac{V}{F_{ag0}} ; \quad G_8 = \frac{k8}{\tau S + 1}$$

para

$$G_9 \frac{T_{ag0}}{V_S + F_{ag0}}$$

$$G_9 = \frac{\frac{T_{ag0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S + F_{ag0}}{F_{ag0}}}$$

$$G_9 = \frac{\frac{T_{ag0}}{F_{ag0}}}{\frac{V_S}{F_{ag0}} + 1} ; \quad k_9 = \frac{T_{ag0}}{F_{ag0}} ; \quad \tau = \frac{V}{F_{ag0}} ; \quad G_9 = \frac{k_9}{\tau s + 1}$$

então a Função de transferência para a temperatura é dada por,

$$(4) \quad \tilde{T}_{ag}(s) = G_5 \tilde{F}_{al}(s) + G_6 \tilde{T}_{al}(s) + G_7 \tilde{F}_{af}(s) + G_8 \tilde{T}_{af}(s) - G_9 \tilde{F}_{ag}(s)$$

## ***11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS***

ADIGA, S. *Software Modeling of Manufacturing Systems: A case for a Object-Oriented Programming Approach*. *Annals of Operations Research*, 17 (363-378). 1989.

ANG, K. P. PETRELL, R. J. *Control of feed dispensation in seacages using underwater video monitoring: effects on growth and food conversion*. *Aquacultural Engineering* V. 16, pp 45-62, Elsevier, 1996

AYRES, R.U. *Factory Data Communication*. *Manufacturing Review*, Vol. 2, No. 1, pp. 43-52, 1989.

BAYER, R. C. RILEY, J. RITTENBURG, J. H. LEAVITT, D. F. & GALLAGHER, M. L. *Photoelectric Measurement of Lobster*. *Aquacultural Engineering* V. 1, pp 5-9, Elsevier, 1982

BOLTE, J. NATH, S. ERNST, D. *Development of decision support tools for aquaculture: the POND experience*. *Aquacultural Engineering* V. 23, pp 103-119, Elsevier, 2000

BOLTON, W. *Engineering Instrumentation and Control*. Ed. Hemus. London: 1ª edição, 2002.

CTAI-Revista de Automação e Tecnologia da Informação. vol 1 nº 2 julho/dezembro, Florianópolis, 2002.

D'AZZO, J. J. & HOUPIS, Constantini H. **Análise e Projeto de Sistemas de Controle Lineares**. Segunda edição. Tradução Bernardo Severo da Silva. Rio de Janeiro, 1991.

DISTEFANO, J. J. & STUBBERUD, A.R., WILLIAMS, I.J. **Sistemas de Retroação e Controle**. Tradução Ostend Abilhôa Cardim. MacGRAW HILL, São Paulo, 1972

DUAN, N., *Extend Moore Machine Network Model for Discrete event Control of Flexible Manufacturing Systems*. P.H.D. Thesis, The Pennsylvania State, Dec 1993.

DUFFIE, N. A., *Non-hierarchical cell control*. In: *Manufacturing Cells: Control, Programming and Integration*

FABIAN, M. & LENNARTSON B., *Control of Manufacturing Systems: An Object Oriented Approach*. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Technology (INCOM92)*, (Ed.: M. B. Zaremba), Pergamon Press, Oxford, England, pp. 47-52, 1992.

GLASSEY, RC & ADIGA, S. *Conceptual Desing of a Software Object Library for Simulation of Semiconductor Manufaturation Systems*. *Journal of Object-Oriented Programing, SIGS*, New York, 1989, p. 3943.

GARRET, P. *Analog I/O Design Acquisition: Conversion and Recovering*. Reston Publishing Company Inc. Virginia-USA, 1981.

GLOUANNEC, P. NOE'L, H., N. *Energy Characterisation of an Aquacultural Installation in Closed Loop*. *Aquacultural Engineering V. 21* pp 1-18, Elsevier, 1999

HARREU, R. M. HOCHHEIMER, J. N. MERITT, D. A. R. & RHOADES, D. A. *A New System for Control of Temperature and Salinity for Experimental and Production Tank Culture*. *Aquacultural Engineering V. 8*, pp 155-163, Elsevier, 1989

HUGGINS, W. L. *"Automatic Control of Food Supply in the Culture of Filter-feeding Organisms"*. Fisheries Laboratory, Lowestoft, Suffolk NR33 OHT, UK, 1987

ICOOMS'92. *International Conference in Object-Oriented Manufacturing Systems. Proceedings*. Calgary, Alberta, Canada, 1992.

JASANY, L. C. *Today's Software: No Programing Required. Control Systems*. 1992.

KIM, C.; KIM, K. & CHOI I., *An Object-Oriented Information Modeling Methodology for Manufacturing Information Systems*. *Computers Industries Engineering*, Vol. 24, Nr. 3, pp. 337-353, 1993.

LARIN, David J. *Cell Control – Wath We Have, Wath We'll Need*. *Manufacturing Engineering January*, 1989.

LATHI, B. P. *Linear Systems and Signals*. Berkeley Cambridge, Carmichael, 1992

LEE, P. G.. *A Review of automated Control systems for Aquaculture and design Criteria for Their Implementation*. *Aquacultural Engineering V. 14*, pp 205-277, Elsevier, 1995

LEE, T.; ADAMS, G.E.& GAINES, J.W. *Computer Process Control*. Ed. John Wiley & Sons Inc. New York, 1988.

LIN, L.; WAKABAYASHI M. & ADIGA, S. *Object-Oriented Modeling and Implementation of Control Software for a Robotic Flexible Manufacturing Cell.. Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 11, No 1, pp. 1-12, 1994.

LOSORDO, T. M.. PIEDRAHITA R. H. & EBELING, J. M. *An Automated Water Quality Data Acquisition System for use in Aquaculture Ponds*. *Aquacultural Engineering V. 7*, pp 265-278, Elsevier, 1988

MENASVETA, P., ARANYAKANONDA, P. RUNGSUPA, S. & MOREE, N. *Maturation and Larviculture of Penaeid Prawns in Closed Recirculating Seawater Systems*. *Aquacultural Engineering V. 8*, pp 357-368, Elsevier, 1989

MEYER, W., *Knowledge-based realtime supervision in CIM – the workcell controller*. ESPRIT 86: results and achievements, 1986.

NAYLOR, A. W.& VOLZ, R. *A Design of Integrated Manufacturing System Control Software*. IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics, Vol. SMC-17, No. 6, Nov/Dec, pp. 881-897, 1987.

NOF, S. Y. *Critiquing the potencial of object orientation in manufacturing*. Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol. 7, Nr. 1, p. 173-194, 1991.

OGATA, K.. *Engenharia de Controle Moderno*. Rio de Janeiro: Editora Prentice Hall do Brasil, 1993.

PAPANDROULAKIS, N. PAPANDROULAKIS, D. ZENON, S.A. *An automated feeding system for intensive hatcheries*. Aquacultural Engineering V. 26, pp 13-26, Elsevier, 2002

PFEIFFER, T. J. RUSCH K. *An integrated system for microalgal and nursery seed clam culture*. Aquacultural Engineering V. 24, pp 15-31, Elsevier, 2000

PLAIA, C. W. *A Computerized Environmental Monitoring and Control System for Use in Aquaculture*. Aquacultural Engineering V. 6, pp 27-37, Elsevier, 1987

PRILUTZKY, A. BIRKAN, V. & APPELBAUM, S. *Automatic Air-pressure Control in Systems for Intensive Breeding of Aquatic Animals*. Aquacultural Engineering V. 1, No 3, pp 209-214, Elsevier, 1996

ROGERS, P. *Representation of the cell control task”. In: Manufacturing Cells: Control, Programming and Integration*. Butterworth-Heinemann Ltd. P. 173-194, 1991.

SEBORG, D.E.; EDGAR, T.F.& MELLICHAMP, D.A. *Process Dynamics and Control*. John Wiley & Sons, Inc. Singapore, 1989.

SIGHIERI, L. & NISHINARI, A. **Controle Automático de Processos Industriais**. Ed. Edgard Blücher Ltda, 1988.

SMITH, B. C. & WIKFORS, G. H. *An automated rearing chamber system for studies of shellfish feeding*. Aquacultural Engineering V. 17, pp 69-77, Elsevier, 1998

SMITH, J. S., *A Formal Design and Development Methodology for Shop Floor Control in Computer Integrated Manufacturing*. PhD Thesis, The Pennsylvania State University, December 1992.

SOLIMAN, S. S. *Continuous and Discret Signals and Signal Processing*. Prentice Hall, Englewood, 1990

STRUM, R. D. *Contemporary Linear Systems Using MatLab*. Addison Wesley, Boston, 1994.

TEPFENHART, W.M.. & LEE, R.C. *UML and C++ A Pratical Guide to Object Development*. Prentice Hall, New Jersey-USA, 1997.

WATANABE, S. **Glossário de Ecologia**. ACIESP nº 103, 2ª ed, 352 pp, 1997

YOURDON, E. *Managing the System Life Cycle*. Englewood Cliffs, NJ, Yourdon Press, 1988.